

Aus der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
Marburg a. d. Lahn
Direktor: Professor Dr. med. J. Berendes

Fehlerquellen der Schwellenaudiometrie unter besonderer Berücksichtigung raumakustischer Einflüsse

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität zu Marburg
vorgelegt von

Michael Streit
aus Königsberg/Ost-Preußen

Marburg 1973

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg (Lahn)

Aus der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
Marburg a. d. Lahn
Direktor: Professor Dr. med. J. Berendes

Fehlerquellen der Schwellenaudiometrie unter besonderer Berücksichtigung raumakustischer Einflüsse

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Michael Streit

aus Königsberg/Ost-Preußen

Marburg 1973

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg (Lahn)



Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin der Universität
Marburg am 20. Februar 1973

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. H. Oepen

Referent: Prof. Dr. W. Niemeyer

Korreferent: Prof. Dr. J. Berendes

I n h a l t

	Seite
1. Einleitung	1
1.1. Prinzip und Methodik der Schwellenaudiometrie	1
1.2. Zur Geschichte der Audiometrie	7
2. Fehlerquellen der audiometrischen Diagnostik	9
2.1. Untersuchungsraum	9
2.2. Audiometer	10
2.3. Untersuchungsmethodik	11
2.4. Patient	12
3. Raumakustische Fehlerquellen	13
3.1. Entstehung und Frequenzcharakteristik von Raumgeräuschen	13
3.2. Bisherige Untersuchungen	14
3.2.1. Akustische und technische Grundlagen	
3.2.2. Veröffentlichungen über den Einfluß von Störgeräuschen auf die Schwellenaudiometrie	23
3.2.3. Störschalleinfluß bei audiometrischen Reihenuntersuchungen	25
3.3. Folgerungen für die Einrichtung von Hörprüfräumen	28
3.4. Indikationen und Durchführung schwellenaudiometrischer Untersuchungen im Schallstärkebereich der Normalhörschwelle	35
4. Eigene Untersuchungen	37
4.1. Problemstellung	37
4.2. Methodik und Material	39
4.3. Ergebnisse	45
4.3.1. Raumakustik	45
4.3.1.1. HNO-Praxen	45
4.3.1.2. Geräuscherfüllter Raum (Poliklinik)	47
4.3.1.3. Geräuscharmer Raum (Labor der audiologischen Abteilung)	47
4.3.2. Hörschwellenprüfungen	48
4.3.2.1. Mit Kopfhörer Beyer DT 48 in Schaumgummiflachmuffe	48
4.3.2.2. Mit Kopfhörer TDH 39 in Schallschutzmuffe ME 70	48
4.3.3. Dämmwirkung der beiden Kopfhörer für Sinustöne im annähernd freien Schallfeld	50
5. Diskussion und Folgerungen	51
5.1. Beurteilung der Audiometrieräume in HNO-Praxen	51
5.2. Möglichkeiten und Grenzen der Verwendung von Spezialkopfhörern	53
5.3. Abhilfe durch bauakustische Maßnahmen und Hörkabinen	60
5.4. Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen im Hinblick auf die bisherigen Veröffentlichungen	62
5.5. Kritik der eigenen Untersuchungen	65
6. Zusammenfassung	66
7. Literaturverzeichnis	71



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553805_0004

1. Einleitung

1.1. Prinzip und Methodik der Schwellenaudiometrie

Als Schwellenaudiometrie wird im klinischen Sprachgebrauch die Bestimmung der Hörschwelle als Funktion der Frequenz mit standardisierten Prüfschallerzeugern bezeichnet. Die Schwellenaudiometrie ist das wichtigste und heute am häufigsten angewendete hördiagnostische Verfahren, da die meisten Störungen der Hörfunktion mit einer Veränderung der Wahrnehmungsschwelle einhergehen.

Audiometrie im weiteren Sinne ist das diagnostische Teilgebiet der angewandten Audiologie. Im engeren Sinne subsummiert man unter dem Begriff Audiometrie die Hörprüfungsmethoden mit eigens für diesen Zweck entwickelten elektroakustischen Apparaten. Die Unterteilung der Audiometrie wird mehr aus klinisch-praktischer Sicht als streng methodisch getroffen: Man unterscheidet Schwellenaudiometrie, überschwellige Audiometrie, Sprachaudiometrie, zentrale Audiometrie, objektive Audiometrie, Kinderaudiometrie und Siebaudiometrie (audiometrische Ausleseverfahren); die zahlreichen Modifikationen nicht mitgerechnet, umfaßt die Audiometrie rund 50 Testverfahren mit unterschiedlicher Zielsetzung und Methodik. Durchweg handelt es sich um psychoakustische Untersuchungen, d.h. der Proband oder Patient gibt eine Hörwahrnehmung auf einen definierten akustischen Reiz kund. Bei der Schwellenaudiometrie wird auf diese Weise das Minimum perceptibile eines Hörreizes ermittelt. Als Prüfreiz dienen im allgemeinen Sinustöne.

Vor der Entwicklung der Audiometrie war der Untersucher für die Bestimmung der Hörschwelle auf mechanisch-akustische Instrumente, wie z.B. die Galton-Pfeife, das Struyckensche Monochord und Stimmgabelsätze angewiesen. Die Stimmgabel fand am häufigsten Verwendung, weil sie eine - wenn auch

nur grobe - quantitative Differenzierung des Hörvermögens erlaubte. Diese erfolgte durch Bestimmung der Zeitdauer, während welcher der Proband den Ton einer angeschlagenen Stimmgabel wahrnahm, der sogenannten Abklingzeit. Die gemessene Abklingzeit wurde mit der Abklingzeit des Normalhörigen verglichen, und die Differenz galt als Maß des Hörverlustes (16). Die Stimmgabelprüfung ist mit verschiedenen Fehlermöglichkeiten behaftet. Die Abklingzeit wird nämlich nicht nur von der Hörschärfe des Probanden, sondern auch von der Stärke des Gabelanschlages, der unterschiedlichen Abklingzeit verschiedener Stimmgabelmodelle, von der Entfernung vom Ohr und von der Entstehung von Obertönen bestimmt (16).

Die gedankliche Konzeption der Stimmgabelprüfung ist in der Schwellenaudiometrie beibehalten worden: Aus dem für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Frequenzbereich (etwa 20 bis 20 000 Hz) werden stichprobenhaft bestimmte Frequenzen als Prüftöne benutzt und für diese Prüftöne die geringste wahrnehmbare Lautstärke bestimmt. Im allgemeinen mißt man in den Oktavabständen der c-Reihe, im oberen Frequenzbereich außerdem in Halboktavabständen (fis-Reihe). Im Audiometer ist der Stimmgabelsatz durch einen elektrischen Tongenerator ersetzt, der fast obertonfreie Sinusschwingungen erzeugt. Im Gegensatz zur Stimmgabel gibt das Audiometer Töne gleichbleibender Schallstärke ab, die aber beliebig reguliert werden kann, so daß man gewissermaßen jede beliebige Phase des Abklingvorganges einer Stimmgabel einzustellen vermag (30). Die Hörschwelle wird durch das Wechseln zwischen eben unterschwelliger und eben überschwelliger Lautstärke eingegabelt. Die Schallstärke, bei welcher der Prüftön eben hörbar ist, markiert die Hörschwelle des Probanden. Sie wird mit der Normalhörschwelle verglichen. Die Differenz zur Normalhörschwelle ist das Maß des Hörverlustes. Als Betrag

des Hörverlustes wird, um eine gewisse Annäherung an die Lautstärkeempfindung des Ohres zu erreichen, international ein logarithmisches Schalldruckmaß benutzt, das Dezibel (dB). Es ist definiert durch die Formel:

$$\text{Schalldruck in dB} = 20 \times \log_{10} \frac{\text{Schalldruck in } \mu\text{b}}{0,0002 \mu\text{b}}$$

0,0002 μb ist der für die menschliche Hörschwelle angesetzte Wechseldruck (0 dB). Er wird neuerdings nicht mehr mit $2 \times 10^{-4} \mu\text{b}$, sondern mit $20 \mu\text{N}/\text{m}^2$ ausgedrückt.

Eine Verdoppelung der Amplitude macht auf der dB-Skala einen Zuwachs um 6 dB, eine Verdreifachung einen Zuwachs um 10 dB, eine Verfünffachung einen Zuwachs um 15 dB, eine Verzehnfachung einen Zuwachs um 20 dB aus. Die hundertfache Amplitude entspricht 40 dB, die 1000fache 60 dB, die 10 000fache 80 dB usw.

Die beim Patienten gefundenen Hörschwellenwerte werden in ein Koordinatenformular eingezeichnet, dessen Abszisse von der logarithmischen Frequenzskala und dessen Ordinate von der dB-Skala gebildet wird. In der Physik und Nachrichtentechnik wird der Prüfschalldruck von unten nach oben abgetragen, in der Medizin, wo es um den Hörverlust des Patienten geht, von oben nach unten.

Die menschliche Hörschwelle liegt nicht im gesamten Frequenzbereich bei gleichen Schalldrucken. Das ist durch die unterschiedliche Empfindlichkeit unseres Gehörorgans bedingt. Die größte Empfindlichkeit liegt bei 1000-4000 Hz; oberhalb 4000 Hz und unterhalb 1000 Hz nimmt sie deutlich ab. Bezogen auf "0 dB" = 0,0002 μb bzw. $20 \mu\text{N}/\text{m}^2$, d.h. auf den Schalldruck, der im Frequenzgebiet der größten Ohrempfindlichkeit gerade eben wahrnehmbar ist, stellt sich die menschliche Hörschwelle als geschwungene Kurve dar (Abb. 1). Diese physikalisch exakte Darstellung hat sich nur für bestimmte überschwellige

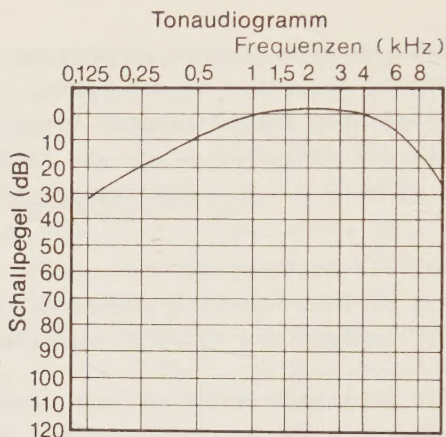


Abb. 1. "Absolute" Hörschwelle eines Normalhörigen, für audiometrische Zwecke vereinfacht dargestellt

audiometrische Verfahren und für wissenschaftliche Zwecke erhalten. In der Schwellenaudiometrie wird allgemein die Hörverlust- oder Relativdarstellung bevorzugt. Hierbei wird die Hörschwelle eines Kollektivs junger normalhörender

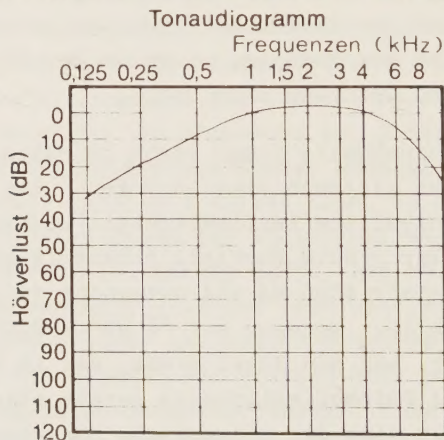


Abb. 2. Audiogrammformular in Relativ- oder Hörverlustdarstellung

Versuchspersonen in allen Prüffrequenzen zum Bezugswert "0 dB".

Wie die Stimmgabelprüfung im Zuge der technischen und speziell der elektroakustischen Entwicklung durch die Tonaudiometrie ersetzt worden ist, so wird auch die Hörprüfung mit lebender Sprache mehr und mehr durch technisierte Verfahren verdrängt. An die Stelle der "klassischen" Sprachabstandsprüfung tritt heute die Sprachaudiometrie; sie bedient sich genormter Prüfspracheinheiten, die auf Tonband konserviert sind und von einem in dB kalibrierten Wiedergabegerät, dem Sprachaudiometer, abgespielt werden. An die Stelle der groben und unzuverlässigen Bestimmung des auditiven Aktionsradius tritt das prozentuale Sprachverständnis als Funktion der Sprachschallstärke.

Die Tonaudiometrie erlaubt nicht nur eine viel exaktere Hörschwellendiagnostik als die konventionellen Stimmgabelprüfungen, sondern durch die Kombination der Hörschwellenbestimmung über Luftleitung mit der Hörschwellenbestimmung über Knochenleitung auch eine weit zuverlässigere topische Diagnose der Hörstörung. Es ist sogar möglich geworden, allein auf Grund des Verlaufs der Luftleitungs- und Knochenleitungs-Hörschwellenkurve Schalleitungs- und Schallempfindungsstörungen in weitere Typen zu unterteilen und hieraus therapeutische Konsequenzen zu ziehen (21).

Die Audiometer sind so geeicht, daß die normale Hörschwelle über Knochenleitung und die normale Hörschwelle über Luftleitung an beiden Lautstärkestellern bei der Markierung "0 dB" erreicht wird. Beim jungen Normalhörenden decken sich daher Luft- und Knochenleitungsschwelle untereinander und mit der 0-dB-Linie in Relativdarstellung.

Bei der Schalleitungsschwerhörigkeit weist die Luftleitungskurve einen Hörverlust auf, weil Prüfschallenergie im defekten Schalleitungsapparat verloren geht; bei der Knochenleitungsprüfung, die den Schalleitungsapparat umgeht, findet sich dagegen kein Hörverlust, denn das Innenohr funktioniert normal und hat damit auch die gleiche Hörschwelle wie das Innenohr des Normalhörenden. Der Abstand von Luft- und Knochenleitungskurve kann frequenzabhängig

sein. Er erlaubt dann weitere Rückschlüsse auf die Art der Schalleitungsstörung (z.B. elastische Versteifung bei Stapesankylose, Dämpfung bei Paukenerguß oder bei Ceruminalpfropf im äußeren Gehörgang, Kombination von Versteifungs- und Dämpfungstyp usw.).

Bei der Schallempfindungsschwerhörigkeit decken sich Luft- und Knochenleitungskurve, und beide weisen einen gleichgroßen Hörverlust auf. Im intakten Schalleitungsapparat geht keine Prüfschallenergie verloren; die Schwelle der Sinnesrezeptoren selbst ist aber erhöht, so daß die Umgebung des Schalleitungsapparates bei der Prüfung über Knochenleitung zu keiner besseren Hörwahrnehmung führen kann als die Luftleitungsprüfung. Auch der Hörverlust bei der Schallempfindungsschwerhörigkeit ist oft frequenzabhängig: Bei vorwiegender Schädigung in den fensternahen Abschnitten des Cortischen Organs, wo die Perzeption der hohen Frequenzen erfolgt, findet sich eine fallende Kurvencharakteristik (cochleobasaler Typ oder Typ A). Das Gegenstück ist die sehr seltene sog. Baßtaubheit, wo der Hörverlust im tiefen Frequenzbereich größer gefunden wird als im oberen (cochleo-apicaler Typ oder Typ B). Beim mediocochleären Typ verläuft die Hörschwellenkurve muldenförmig, beim pancochleären Typ mehr oder weniger eben (Typ B und C); derartige Kurvenbilder sind die Regel bei Innenohrschwerhörigkeiten des Menièreschen Formenkreises, kommen aber auch bei manchen erblichen Hördefekten vor (21).

Nicht selten treten Schalleitungs- und Schallempfindungsstörung gemeinsam auf (kombinierte Schwerhörigkeit). Dann bezeichnet der Abstand der Knochenleitungskurve von der 0-dB-Linie die Funktionseinbuße des Innenohres bzw. der retrocochleären Abschnitte des Hörorgans, der Abstand zwischen Knochenleitungs- und Luftleitungskurve den schalleitungsbedingten Hörverlust und der Abstand der Luftleitungskurve von der 0-dB-Linie den Gesamthörverlust als Funktion der Frequenz.

Die Schwellenaudiometrie und ihre graphische Darstellung gestatten also nicht nur, jede Schwerhörigkeit auf einen Blick in die drei Hauptgruppen der Hörstörungen einzureihen, sondern auch aus dem Frequenzgang der Schwellenkurven schon weitreichende Schlüsse auf Sitz und Ursache der Hörstörung zu ziehen sowie schließlich eine quantitative Abschätzung der Schwerhörigkeit zu treffen.

1.2. Zur Geschichte der Audiometrie

Die Entwicklung der Audiometrie zu ihrem heutigen Stande ist in weniger als einem Jahrhundert erfolgt. Erste Impulse gingen von der Erfindung des Fernsprechers durch Reis 1861 und des Telephonhörers durch A.G. Bell 1876 aus.

1878 konstruierten Hartmann in Deutschland und Blyth in England Geräte, die eine Kombination der Helmholtzschen elektrischen Stimmgabel und des Bellschen Telephonhörers darstellten (11). Sie wurden - zusammen mit ähnlichen Geräten - als Akumeter, Sonometer, elektrische Hörmesser usw. bezeichnet. Das Kunstwort "Audiometer" dürfte auf Richardson (1879) zurückgehen. 1899 ersetzte Seashore (Chicago) das bis dahin willkürliche Schallstärkemaß durch eine logarithmische Abstufung. Gradenigo berichtete 1890 über den ersten Knochenleitungshörer, den er "osteo-tympanalen Hörmesser" nannte (16). Die bis etwa zum Jahre 1919 konstruierten elektroakustischen Hörprüfgeräte fanden aufgrund ihrer Uneinheitlichkeit und technischen Mängel keinen breiteren Eingang in die Otologie.

Das erste technisch einwandfrei arbeitende und auch praktisch anwendbare Audiometer wurde auf Veranlassung von Fletcher und Wegel sowie Fowler sen. von der Western Electric Company gebaut (I A - Audiometer). Die Weiterentwicklung war das II A Audiometer; es kam mit 8 Prüffrequenzen in Oktavschritten den heutigen Audiometern

schon näher und setzte sich dank seiner einfacheren Bedienbarkeit auch in der Praxis durch.

Große Schwierigkeiten bereitete weiterhin die Konstruktion brauchbarer Knochenleitungshörer. Erst 1929 konnten die Audiometer der Western Electric Company mit serienmäßigen Knochenleitungshörern ausgestattet werden.

Die heute übliche Audiogrammdarstellung geht auf Fletcher und Wegel zurück (1922). Auf die Intensitätseinteilung in dB ging man 1930 über. Eine Standardisierung der elektroakustischen Hörprüfgeräte wurde in den USA bereits 1938/39 eingeführt.

Die in Deutschland laufenden gleichartigen Entwicklungen wurden durch den Ausbruch des Zweiten Weltkrieges unterbrochen. In den USA waren mittlerweile mehrere gute Audiometer entwickelt worden, von denen das 1937 konstruierte Maico-D-5-Gerät auch in Europa größere Verbreitung fand. Die eigentliche audiometrische Ära begann in Europa erst nach dem Zweiten Weltkrieg. Seitdem sind zahlreiche Typen einwandfrei arbeitender Schwellenaudiometer auf den Markt gekommen. In der Bundesrepublik werden in den meisten HNO-Kliniken und vielen HNO-Praxen die Geräte der Firma ATLAS (Bremen) mit halbautomatischer Aufzeichnung benutzt. Die mit Röhren bestückten Audiometer werden neuerdings durch transistorisierte ersetzt. Diese zeichnen sich durch geringeres Gewicht, größere Robustheit und bessere Transportfähigkeit aus. Neben den Audiometern mit Festfrequenzen in Oktav- und Halboktavabständen sind mehrere Sonderkonstruktionen entwickelt worden, von denen hier nur das selbstschreibende Audiometer G.v.BEKESYS, des Nobelpreisträgers für Medizin 1961, erwähnt sei.

Alle heutigen Typen von Audiometern zur Hörschwellenbestimmung sind im Grundaufbau gleich. Sie bestehen aus:

1. einem Tongenerator, der die benötigten elektrischen Wechselspannungen erzeugt,
2. einem Lautstärkeregler, der eine Abstufung der Prüflautstärke durchweg in 5-dB-Schritten ermöglicht,
3. dem Verstärkerteil,
4. dem Luftleitungshörer, der die Wechselspannungsschwankungen in Sinustöne umwandelt und diese dem Trommelfell bzw. Mittelohr zuleitet,
5. dem Knochenleitungshörer, der den Prüfschall auf den Schädelknochen überträgt, und
6. einem Geräuschgenerator, der das zur Vertäubung des nicht geprüften Ohres benötigte Rauschen erzeugt (31).

2. Fehlerquellen der audiometrischen Diagnostik

Eine exakte Hörschwellenbestimmung mit dem Audiometer ist nur möglich, wenn die auch diesem Verfahren anhaftenden Fehlermöglichkeiten bekannt sind und soweit wie möglich reduziert werden. Dabei sind vier Faktoren besonders zu berücksichtigen:

1. Der Raum, in dem die audiometrische Untersuchung stattfindet,
2. das benutzte Audiometer,
3. die Untersuchungsmethodik bzw. der Untersucher,
4. der Patient.

2.1. Der Untersuchungsraum

Die raumakustischen Fehlerquellen sind der Hauptgegenstand dieser Arbeit, sie werden in Kapitel 3 gesondert abgehandelt.

2.2. Das Audiometer

Die selbstverständliche Voraussetzung für eine zuverlässige Schwellenaudiometrie ist der einwandfreie technische Zustand des Audiometers und seine Übereinstimmung mit den Normvorschriften (in Deutschland DIN 45 620). Etwaige Nebengeräusche des Audiometers sind zu beseitigen. Bei vielen Typen tritt, vor allem nach längerem Gebrauch, während des Wechsels von Lautstärkestufe zu Lautstärkestufe ein kratzendes Geräusch auf, das durch Kontaktschleifen erzeugt wird. Es wird, vornehmlich bei der Prüfung mit hohen Frequenzen, vom Patienten nicht selten irrtümlich für den Prüfreiz gehalten; dann führt nicht der Prüftön, sondern das fehlerhafte Eigengeräusch des Audiometers zur (zu guten, d.h. falschen) Hörschwellenangabe.

Weitere Probleme ergeben sich aus der Ankoppelung der akustischen Wandler (Luft- und Knochenleitungshörer) an das Gehörorgan. Schon das große Angebot an Gummimuffen für Luftschallhörer zeigt, daß das technische Problem der Abdeckung des geprüften Ohres noch nicht optimal gelöst ist. Ist der Abschluß unvollständig, so kann von außen Störschall eindringen und das Ergebnis der Untersuchung verfälschen(21). Eine zu fest aufliegende Hörermuffe wiederum kann die Ohrmuschel oder den Gehörgangseingang verformen und dadurch zu Fehlmessungen führen, worauf unter 4 (Patient) noch eingegangen wird. Andere Fehlermöglichkeiten sind bei der Knochenleitungsprüfung gegeben. Diese erfolgt bekanntlich in der Weise, daß der Knochenleitungshörer vom Patienten mit der Hand auf den Warzenfortsatz aufgesetzt oder durch ein um den Kopf geschlungenes elastisches Band dort fixiert wird. Der Anlegedruck muß so gewählt werden, daß der Ton optimal hörbar ist; anderenfalls stimmt die Eichung des Knochenleitungshörers nicht. Ein zu hoher oder zu geringer Anlegedruck täuscht eine zu hohe Hörschwelle vor. Weitere Schwierigkeiten bestehen in der nicht völlig zu vermeiden-

den Luftschallabstrahlung des Knochenhörers, die bei stärkeren Schallempfindungsstörungen zu fehlerhaften Schwellenangaben führen kann, und in dem Auftreten von Klirrschwingungen (Oberwellen), die bei Knochenleitungshörern schwieriger zu vermeiden sind als bei Luftleitungshörern.

2.3. Untersuchungsmethodik

Das beste Audiometer bewahrt nicht vor Fehlmessungen, wenn die Untersuchungsmethodik Mängel aufweist. Audiometrieren ist ärztliche Kunst, die nicht nur die Beherrschung, sondern auch die gewissenhafte und geduldige Anwendung der richtigen Untersuchungstechnik einschließt. Am Anfang jeder audiometrischen Prüfung steht die Unterweisung des Patienten, die ihn mit den ungewohnten Prüfreizen und seiner Aufgabe als Proband vertraut machen soll. Das Audiometrieren selbst verlangt erfahrungsgemäß eine bestimmte Schematisierung und die Einhaltung einiger Grundregeln. Wird z.B. der Hörschwellenwert zu schnell eingegabelt, so sind - vermeidbare - Ungenauigkeiten des registrierten Hörverlustbetrages die Folge. Ferner muß der Untersucher bedacht sein, den Prüftönen nur dann zu geben, wenn dieser auch wirklich gebraucht wird; nicht aber ihn in Untersuchungspausen, etwa während der Wahl einer neuen Lautstärkeeinstellung, stehen zu lassen. Eine Mißachtung dieser Regel kann zur "Hörermüdung" und damit wieder zu unrichtigen Hörschwellenangaben Anlaß geben.

In diesem Zusammenhang sei auch noch kurz auf das Problem der Vertäubung des nicht geprüften Ohres eingegangen, weil das Unterlassen der Vertäubung oder eine unrichtige Vertäubungstechnik besonders häufig zu diagnostischen Fehlern führt. Wenn das Hörvermögen beider Ohren differiert, kann eine genaue Schwellenbestimmung des schlechteren Ohres vielfach nur dann garantiert werden, wenn das

bessere Ohr mittels eines geeigneten Geräusches an der Wahrnehmung des Prüftones gehindert, d.h. "vertäubt" wird. Verzichtet man auf die Vertäubung, so besteht infolge Überhörens des Prüftones die Gefahr, daß nicht die Hörschwelle des geprüften schlechteren Ohres, sondern die Überhörschwelle des nicht geprüften besseren vom Patienten angegeben wird (13, 32). Eine zu hohe Schallintensität des Vertäubungsgeräusches kann andererseits die Wahrnehmungsschwelle auch des geprüften Ohres verschieben und auf diese Weise zu Fehlmessungen führen (Übervertäubung). Vor allem bei der Knochenleitungsprüfung ist die Technik der richtigen Vertäubung nicht ganz einfach.

2.4. Der Patient

Da bei der Schwellenaudiometrie keine objektiven Meßdaten gewonnen, sondern nur subjektive Angaben des Patienten auf bestimmte Hörreize registriert werden, ist der Untersucher auf zuverlässige Mitarbeit des Probanden angewiesen. Fehlen Bereitwilligkeit und /oder Konzentrationsvermögen, so nimmt die Meßfehlerbreite zu. Auch jede Ablenkung beeinträchtigt das Konzentrationsvermögen; schon einfache optische Reize wie vorübergehendes Arztpersonal usw. können die Hörschwellenangaben ungenau werden lassen. Mit unexakten, meist zu schlechten Schwellenangaben ist auch zu rechnen, wenn der Patient nicht ausgeruht und frisch zur Untersuchung kommt.

Auf eine ebenfalls im Patienten liegende, aber nicht psychisch oder vegetativ bedingte Ursache von Fehlmessungen hat CRESTON (7) hingewiesen: von 282 seiner audiometrierten Versuchspersonen (Studenten) boten 3,5 % das Bild einer Schalleitungsschwerhörigkeit, die klinisch unerklärbar war.

Durch Wiederholung der Schwellenaudiometrie mit Ohr-einsteckhörern wurde der Nachweis erbracht, daß es sich hier um einen Pseudohörverlust über Luftleitung handelte, der durch einen Kollaps des Gehörgangseinganges infolge des Kopfhörerdruckes hervorgerufen wurde. An diese nicht so seltene Fehlerquelle ist bei Patienten zu denken, die sich selbst als völlig normalhörig empfinden, deren Audiogramm aber eine Schalleitungsschwerhörigkeit vom Dämpfungstyp zeigt.

3. Raumakustische Fehlerquellen

3.1. Entstehung und Frequenzcharakteristik von Raumgeräuschen

Grundsätzlich kann man zwei verschiedene Quellen des Störschalles in einem Hörprüfraum unterscheiden: Einmal den Außenlärm, der nach Überwinden mehrerer Widerstände gedämpft in den Raum eindringt; zum anderen den Innenlärm, der im Hörprüfraum selbst entsteht und daher praktisch ungedämpft an den Kopfhörer des Audiometers oder auch ans Ohr des Patienten gelangt. Für die Qualität des Außenlärms sind die zwischen Schallquelle und Untersuchungsort befindlichen leitenden und dämmenden Materialien wie Luft, Gebäudewände, Fenster usw. von großem Einfluß, während der Innenlärm allenfalls von der Architektur und Verkleidung des Audiometerraumes verändert wird. Da Luft und Baumaterialien vorwiegend die hohen Frequenzen dämpfen, gelangen vom Außenlärm die tieffrequenten Geräuschanteile am wenigsten abgeschwächt in den Hörprüfraum. Das Frequenzspektrum der im Hörprüfraum selbst entstehenden Störgeräusche kann, je nach der Art der Geräuschquelle, auch im oberen Frequenzgebiet energiereiche Anteile enthalten. Innenlärm läßt sich weitgehend vermeiden, wenn für die Audiometrie ein eigener Raum abgeteilt ist, in dem während der Untersuchung keine anderen Verrichtungen vorgenommen werden. Außenlärm ist

dagegen nur in engen Grenzen zu verhindern. Er wird damit zum entscheidenden Störfaktor bei der Schwellen-audiometrie.

3.2. Bisherige Untersuchungen

3.2.1. Akustische und technische Grundlagen

Die Ursachen des außerhalb eines Hörprüfraumes entstehenden Störschalles sind zwar mannigfaltig. Bei der großen und ständig zunehmenden Verkehrsdichte in Stadt und Land kann indessen heute davon ausgegangen werden, daß der Straßenlärm die Hauptlärmquelle darstellt. NOVOTNY hat in längeren Untersuchungen die durchschnittlichen Schallpegel und die Frequenzcharakteristik von Straßenlärm ermittelt: In Zeiten mittlerer Verkehrsdichte ist mit einem durchschnittlichen Lärmpegel von 90 dB, während des Hauptverkehrs mit fast 100 dB zu rechnen. Untersuchungen an bestimmten Fahrzeugtypen ergaben z.B. für Lastkraftwagen einen durchschnittlichen Geräuschpegel von 90-100 dB, Motorräder und Straßenbahnen lagen etwas niedriger. Frequenzanalysen des Verkehrslärms zeigten, daß die Hauptenergie im tiefen Frequenzbereich enthalten ist, während die Intensität nach den höheren Frequenzen zu abfällt. Befindet sich der Hörprüfraum in einem Gebäude nahe an einer verkehrsreichen Straße, so ist außerdem mit Schwingungen im Infraschallgebiet (Erschütterungen, Vibrationen) zu rechnen, die von schweren Kraftfahrzeugen oder Straßenbahnen hervorgerufen werden und sich in den Untersuchungsraum und schließlich auf den Probanden selbst fortpflanzen.

Für die frequenzabhängige Abschwächung des Außenstörschalles auf seinem Weg in den Hörprüfraum sind Material und Konstruktion der Wände von besonderer Wichtigkeit. Grundsätzlich werden - zumeist kleinere - Anteile der Schallenergie

beim Auftreffen auf die Wände reflektiert und unter Energieumsetzung absorbiert; die Restenergie baut im Hörprüfraum ein Schallfeld auf und wird als Störschall am Untersuchungs-ort wirksam. Die Reduzierung der Schallenergie durch bestimmte Medien bezeichnet man als Dämmung. Sie ist bei Einfachwänden, wie sie in Wohn- und Geschäftshäusern üblich sind, hauptsächlich vom Wandgewicht G je m^2 und von der Frequenz F des Störschalles abhängig. Als Formel ausgedrückt beträgt die Dämmung D :

$$D = 10 \text{ Log. } 1,54 \frac{G^2 \times F^2}{10^6}$$

Größere Biegesteife und größere Dichte des Wandmaterials erhöhen den Dämmwert (SCHUBERT (39)). Die Dämmwirkung der Wände kann durch die akustischen Leckstellen eines Hörprüfraumes zunichte gemacht werden. Besondere Aufmerksamkeit verdienen Türen, Fenster und Belüftungsschächte (HAHLBROCK (31)). Den größten technischen Aufwand erfordert die Abschwächung des Körper- und Trittschalles. Nach bestehender Vorschrift soll die Trittschallstärke den Wert von 80 Phon nicht überschreiten (SCHUBERT (39)). Normales Gehen auf einer Decke mit 80 Phon Trittschalldurchlässigkeit erzeugt in dem darunterliegenden Raum einen Schallpegel von 20-40 Phon.

Schließlich ist der Störschallpegel im Hörprüfraum auch von den reflektierenden Eigenschaften der Innenwände abhängig. Je schallhärter die Wandbekleidung ist, desto höhere Werte erreicht der Störschallpegel, da der von den Wänden reflektierte Schallanteil bei Geräuschen zum größten Teil gleichphasig zum Primärschall hinzuaddiert wird (RÖSER (36)). Von größerem Einfluß ist die Wandreflexion, wenn der Prüfschall über Lautsprecher abgestrahlt wird. Nach HAHNBROCK ist bei der Einrichtung eines Hörprüfraumes eine möglichst

frequenzunabhängige Reflexionsminderung an Wänden und Decken anzustreben. Für die Reflexionsminderung höherer Frequenzen reicht im allgemeinen die Anbringung poröser Schluckstoffplatten aus, während für tiefe Frequenzen aufwendigere Maßnahmen erforderlich sind. In Betracht kommen abgestimmte Wandelemente, die die Schallenergie entweder nach dem Prinzip des HELMHOLTZ-Resonators vernichten, aber nur in einem beschränkten Frequenzbereich wirksam sind, oder membranöse Flächen, deren Absorption nach Elastizität und Masse unterschiedlich ist (MEISTER (27)). Der Wirkungsgrad absorbierender Wandelemente erweist sich in der Verkürzung der Nachhallzeit. Dies ist die Zeitspanne, innerhalb welcher die Druckamplitude vom 10^3 -fachen Wert des Schwellenschalldruckes auf den dB-Wert der Hörschwelle oder, vereinfacht ausgedrückt, um 60 dB absinkt (TRENDELENBURG (41)). Der Absorptionsgrad schallschluckender Materialien ist unterschiedlich. SCHUBERT (39) hat die Absorption verschiedener Wandbekleidungen an Gegenständen zusammengestellt:

Bei der Audiometrie über Kopfhörer wird der "Hörprüfraum" von der Gummimuffe des Audiometerhörers, dem Cavum conchae und dem äußeren Gehörgang gebildet; das Prüfschallfeld liegt zwischen der Membran des Kopfhörers und dem Trommelfell (bzw. bei dessen Verlust der medialen Paukenwand). Die Kopfhörermuffe stellt also die letzte Barriere gegen das Eindringen von Störschall in das Prüfschallfeld dar. In welchem Maße der Störschall im Hörprüfzimmer in das Prüfschallfeld zwischen Audiometerhörer und Gehörorgan eindringt und den Messvorgang stört, hängt vom Dämmwert des Kopfhörers ab. Er beträgt bei gewöhnlichen Gummimuffen im Mittel 8-10 dB (SCHUBERT (39)). Voraussetzung für diesen Dämmeffekt ist der dichte Abschluß des Gehörgangseingangs.

Baustoffe	128 Hz	256 Hz	512 Hz	1024 Hz	2048 Hz	4096 Hz
Schlackenwolle	42	80	88	85	65	44
4 cm starke Schicht, mit Nessel bespannt						
Putz (rauh)	1	3	4	5	8	16
Marmor	2	2	3	3	4	5
Bimsdielen (5 cm)	13	16	45	65	60	44
Linoleum	2	2	3	3	4	5
Parkett	3	4	6	12	10	17
Leichter Vorhang	8	29	44	50	40	35
Einfachfenster nach dem Freien	26	6	-	-	-	-
PUBLIKUM						
zusätzliche Schluck- fläche je Person (m ²)						
volle Besetzung	0,01	0,15	0,32	0,33	0,22	-
halbe Besetzung	0,06	0,18	0,56	0,53	0,54	-
HOLZSTÜHLE						
zusätzliche Schluck- fläche je Stuhl (m ²)						
mit durchbrochener Lehne	0,02	0,02	0,03	0,04	0,07	0,02
mit voller Lehne	0,03	0,03	0,05	0,06	0,08	0,06
POLSTERSTÜHLE						
zusätzliche Schluck- fläche je Stuhl (m ²)	0,06	0,12	0,22	0,28	0,40	0,34

Schallabsorption diverser Materialien

Luftspalten von 0,1 mm können die Messgenauigkeiten bereits beeinträchtigen. Sie werden durch ausreichenden Anpreßdruck der Ohrmuffen vermieden; er sollte ca. 0,3-0,4 kp betragen. Weiter wird der Dämmeffekt von der Auflagefläche und Form der den Hörer umschließenden Gummimuffe beeinflusst. Das durchschnittliche Dämmvermögen verschiedener Kopfhörertypen differiert. Der Dämmeffekt aller Kopfhörerkonstruktionen zeigt indessen die gleiche Frequenzabhängigkeit: er ist in den tiefen Frequenzen gering, nach den hohen Frequenzen nimmt er zu. Erwünscht wäre das Gegenteil, da der Störschall im Hörprüfraum seine Hauptenergie in den tiefen Frequenzen besitzt (s. Abb. 3). Die größte Wirksamkeit

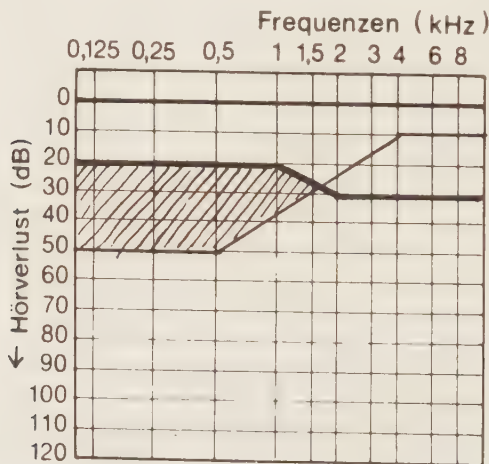


Abb. 3 Dämmeffekt von Luftschallhörer (—) und Frequenzgang des Störschalles (---) (aus LALGENBECK/LEHNHARDT (22))

hinsichtlich der Dämmung von Störschall besitzen Audiometerhörer also im oberen Frequenzbereich, wo praktisch nur durch den -ohnehin leichter vermeidbaren - Innenlärm relevante Störpegel entstehen.

BOCKER u. MRASS (5) maßen den Dämmeffekt des Doppelkopfhörers Typ Beyer DT 48, indem sie mit einem Sondenmikrophon den Schalldruckpegel am unbedeckten und vom Kopfhörer bedeckten Gehörgangseingang verglichen (Abb. 4). Der geringe Dämmeffekt in den tieferen Frequenzen ist augenfällig.

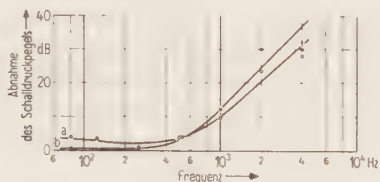


Abb. 4 Kurve a: Abnahme des wahrgenommenen Schalldruckpegels entsprechend der Lautstärkeverminderung nach Aufsetzen eines nicht angeschlossenen Doppelkopfhörers Typ Beyer DT 48

Kurve b: Abnahme des Schalldruckpegels am Eingang des äußeren Gehörganges nach Aufsetzen eines nicht angeschlossenen Hörers Typ Beyer DT 48 (aus BOCKER und MRASS (5)).

Indessen nimmt auch die Ohrempfindlichkeit nach den tiefen Frequenzen hin ab, so daß die Störschallpegel im tiefen Frequenzbereich grundsätzlich solange toleriert werden können, wie sie unterhalb der Hörschwelle bleiben. HAHLBROCK (16) fordert im Hörprüfraum einer HNO-Fachpraxis einen Störschallpegel von unter 40 dB. Nach den Erfahrungen NIEMEYERs (31) kann eine störungsfreie Routineaudiometrie (tiefster Prüftön in Luftleitung 125 Hz, in Knochenleitung 250 Hz) mit gewöhnlichen Kopfhörern erwartet werden, wenn der Schallpegel des Raumgeräusches im Hörprüfungszimmer 30 dB(A) nicht übersteigt. Bei höheren Störschallpegeln ist Abhilfe notwendig. Da der Straßenlärm als Hauptquelle des Störgeräusches angesehen werden muß, kann schon die richtige Wahl des Audiometerraumes innerhalb der Praxis den Störschallpegel reduzieren. HAHLBROCK (17) empfiehlt

z.B., den Hörprüfraum in einem gartenseitigen Zimmer zu installieren. Wo das nicht möglich ist oder nicht ausreicht, bietet sich nach NIEMEYER (31) die verbesserte Abschirmung des eigentlichen Hörprüfraumes, also des Luft-
raumes zwischen Hörermembran und Trommelfell, durch Benutzung von Spezialkopfhörern an.

Hierbei ist der Audiometerhörer in einen Kapselgehörschützer eingebaut, wie er vom Bodenpersonal der Flughäfen und in besonders lärmintensiven Industriebetrieben als Prophylaxe gegen die Lärmschwerhörigkeit getragen wird. Lärmschützer sollen vor allem die mittleren und hohen Frequenzen vom Ohr fernhalten, weil diese für die Sinneszellen des Cortischen Organs gefährlicher sind als tiefe Frequenzen (LEHNHARDT (23)). Der Dämmwert von Spezialkopfhörern liegt aber auch in den tiefen Frequenzen höher als der gewöhnlicher Audiometerhörer. Die "ear muffs" (Gehörschützer) bestehen aus doppelwandigen Schalen, die innen mit Schaumgummi gefüllt sind und am Rand einen weichen Rundwulst tragen. Kräftige Haltebügel und die Verformbarkeit der Weichteilpolster, die ein großes Luftvolumen einschließen und die Ohrmuschel völlig umgeben, gewährleisten einen fugenlosen Abschluß. Die von ZWISLOCKI (zit. nach LEHNHARDT (24)) empfohlenen Lärmschützer haben bei 200 Hz immerhin einen Dämmeffekt von 25 dB, bei 1000 Hz einen solchen von 38 dB (Abb. 5). Das Maximum der Schalldämmung durch Ohrschützer

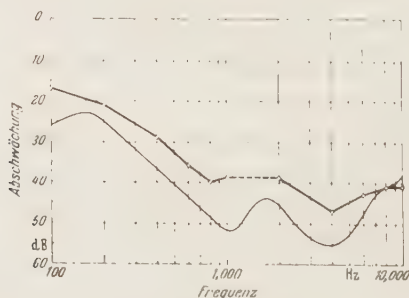


Abb. 5 Abschwächungscharakteristik von Lärmschutzmuffen (obere Kurve). Die dünne Linie gibt die theoretische Grenze der Möglichkeiten wieder (aus LEHNHARDT (24))

liegt bei den Schallpegeln, bei denen der auf den Schädel auftreffende Luftschall als hörbarer Knochenschall fortgepflanzt wird (etwa 50 dB über der normalen Hörschwelle, s. Abb. 4, die in physikalischer Darstellung gezeichnet ist). Hierbei hat auch der Weber-Effekt bei Gehörgangverschluss einen gewissen Einfluß.

MEYER-DELIUS (28) hat den "Antiphon"-Gehörschutz (USA) untersucht, die Dämmwerte gehen aus Abb. 6 hervor. Recht

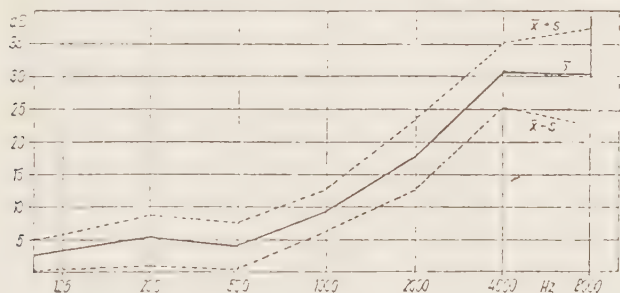


Abb. 6 Schalldämmung des "Antiphon"-Gehörschutzes (aus SAUER (377)).

unterschiedliche Dämmwertkurven fand MEISTER (36) bei 4 weiteren Typen von Gehörschutzmuffen (Abb. 7).

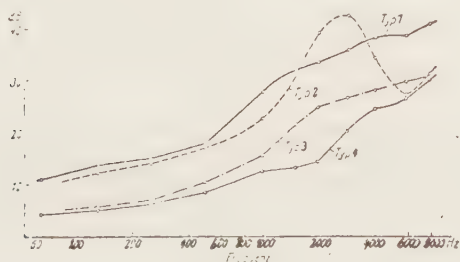


Abb. 7 Schalldämmung von 4 Ohrschützern mit Kopfbügel

(aus MEISTER (26)).
 Typ 1
 Typ 2
 Typ 3
 Typ 4

FISCHER (14) hat die Schalldämmung gebräuchlicher Audiometerhörer gegen diffusen Störschall untersucht. Als Testschall wurde Schmalbandrauschen mit einer Bandbreite $f = 100$ Hz und Bandmittenfrequenzen f_m von 63 Hz bis 10 kHz benutzt; Schallpegel ca. 90 dB. Die Unterschiede zwischen gewöhnlichen Hörermuffen und Gehörschutzkappen waren bei dieser Versuchsanordnung geringer als erwartet; immerhin dämmt der Spezialkopfhörer mit Gehörschutzkappe gerade die tiefen Frequenzen zwischen 250 und 1000 Hz wirkungsvoller ab als andere Kopfhörer (Abb. 8).

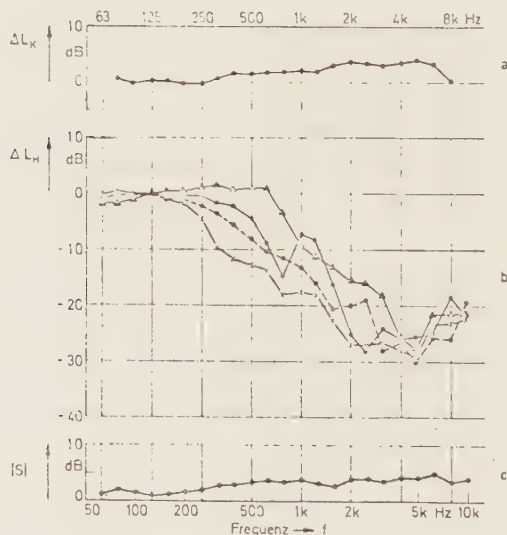


Abb. 8 Die Schalldämmung von Audiometrie-Hörern im diffusen Schallfeld (objektive Messung):
 a Staudruck am Ohr (oktavgemittelt):
 b Schalldämmung
 c mittlere Standardabweichung der Meßwerte.
 o—o Beyer DT 48 mit Flachmuffe;
 o----o Beyer DT 48 mit Hohlmuffe;
 —△ Holmco F20 (Beoton) mit Hohlmuffe;
 x----x Madsen ME 70 (mit TDH 39) Gehörschutzkappe
 (aus FISCHER (24)).

Statt um die Ohrmuschel kann die Schalldämmung auch in den Gehörgang verlegt werden. PARTSCH und HÜLSE (34) haben den Effekt plastischer Ohrmulden untersucht. Als persönlicher Gehörschutz gegen starken Lärm am Arbeitsplatz ist dieses Prinzip ausgezeichnet geeignet, für die mit großen Kopfhörern durchgeführte Hörschwellenaudiometrie aber nicht verwendbar.

3.2.2. Veröffentlichungen über den Einfluß von Störgeräuschen auf die Schwellenaudiometrie

Störschall, der die Dämmung der Hörermuffe überwindet und in das Prüfschallfeld zwischen Kopfhörermembran und Trommelfell eindringt, kann die Wahrnehmung des Prüftones und damit die Hörschwellenangabe beeinflussen. Die Erkennbarkeit akustischer Signale in einem Geräusch wird durch das Intensitätsverhältnis beider Komponenten bestimmt. Dieses wird in der Nachrichtentechnik als Störabstand (s) bezeichnet und in dB ausgedrückt

$$s = 20 \log \frac{A_s \text{ (}\mu\text{b)}}{A_r \text{ (}\mu\text{b)}}$$

A_s = maximale Signalamplitude

A_r = mittlere Geräuschamplitude

Wird während der Hörschwellenbestimmung Störschall in das Prüfschallfeld eingespeist, so ist mit einem Verdeckungseffekt zu rechnen, wenn die Störschallenergie in der Prüffrequenz die Hörschwellenkurve des Probanden überschreitet.

In der Literatur haben wir zwar Untersuchungen über den Einfluß von Raumstörgeräuschen auf die Ergebnisse präventiv-audiometrischer Prüfungen (s. S.), jedoch überraschenderweise keine Berichte über systematische Untersuchungen des Einflusses der Geräusche in Hörprüfräumen auf die reguläre Hörschwellenaudiometrie gefunden.

Im neuen "Lehrbuch der praktischen Audiometrie" von LANGENBECK und LEHNHARDT wird darauf hingewiesen, daß die Hörschwellenbestimmung in der unteren Hälfte der Tonskala unterhalb 1000 Hz durch Störlärm im Hörprüfraum am stärksten beeinträchtigt wird. Das Ausmaß und die Frequenzverteilung des Verdeckungseffektes ist von der Dämmfunktion des Kopfhörers, von dem charakteristischen Verlauf der Normalhörschwelle und von der frequenzabhängigen Schallenergieverteilung des Störgeräusches abhängig. Die Wechselwirkung zwischen diesen Faktoren führt allgemein zum Bild der maximalen Verdeckung im Frequenzbereich zwischen 250 und 1000 Hz.

GRISANTI (15) nahm eine Cocktailparty als Geräuschkulisse (ca. 65 dB) auf Band auf und spielte diese 24 Patienten mit verschiedenartigen Hörverlusten während der audiometrischen Luftleitungsprüfung vor. Er fand den maximalen Maskierungseffekt bei 500 Hz, einen geringeren bei 120 Hz und 2000 Hz. Derartige Störeinflüsse dürften während der schwellenaudiometrischen Untersuchungen in Klinik und Praxis allerdings ungewöhnlich sein; immerhin können hohe Raumgeräuschintensitäten im mittleren oder oberen Frequenzbereich auch einmal den maximalen Maskierungseffekt auf die höheren Prüffrequenzen verlagern. Hier spielt dann die hohe Empfindlichkeit des menschlichen Gehörorgans zwischen 1000 und 4000 Hz eine wesentliche Rolle.

Kontinuierlich auf das Gehör einwirkende Geräusche vermögen über ihren Verdeckungseffekt hinaus die Hörschwelle zu beeinflussen, indem sie zu Adaptationsvorgängen führen. Die Adaptation hat für das voll funktionstüchtige Gehörorgan einen annähernd gesetzmäßigen Charakter, der sich durch die Adaptationsgleichung wiedergeben läßt (MEISTER(25)). Jeder Änderung des Belastungspegels folgt die Hörschwelle in gleicher Weise; für die zeitliche Änderung $\dot{A}$ gilt:

$$\dot{A} = \frac{S - S_0}{T}$$

S = augenblickliche Schwellenlage unmittelbar nach der Reizung

S_0 = Ausgangsschwellenwert z.B. normale Hörschwelle

T = Zeitkonstante (abhängig von der Belastungsdauer)

3.2.3. Störschalleinfluß bei audiometrischen Reihenuntersuchungen

Bei schulaudiometrischen Untersuchungen, Hörschwellenbestimmungen bei Lärmarbeitern, Einstellungsuntersuchungen in Lärmbetrieben usw. stehen in der Regel keine speziellen Hörprüfräume zur Verfügung. Der Einfluß des Störgeräusches auf die Meßergebnisse verdient daher besondere Beachtung.

Die Schulaudiometrie hat in den letzten Jahren im Rahmen der prophylaktischen Medizin immer größere Bedeutung gewonnen und wird in einigen Bundesländern bereits standardisiert. Die Genauigkeit und damit die Verwertbarkeit der Hörschwellenbefunde hängt weitgehend vom Lärmpegel während der Untersuchung ab. ARNDT (1) fand in Kieler

Volksschulen Geräuschpegel zwischen 55 und 60 DIN-Phon (entsprechend dB (A)), MEISTER (27) in Düsseldorfer Stadtschulen 30-72 dB (A), also sehr stark schwankende Werte. Die Spitzenbelastung in den Unterrichtsräumen ist von der Lage der Schule und von der Schalldämmung der Raumwände, insbesondere der Fenster, abhängig. Auch wenn der Störpegel bei schulaudiometrischen Reihenuntersuchungen durch geeignete Maßnahmen gesenkt wird, bleibt immer ein nicht unbeträchtlicher Restgeräuschpegel übrig, den der Untersucher zu berücksichtigen hat. DIPPEL (9) fand bei audiometrischen Reihenuntersuchungen in mehreren Schulen keinen einzigen hinreichend störarmen Untersuchungsraum; zur Ausschaltung konsensueller Adaptationsvorgänge wurde das nicht geprüfte Gegenohr mit einer besonderen Abschirmmuschel bedeckt, die im Frequenzgebiet um 250 Hz eine Dämpfung von 15-17 dB, bei 1000 Hz eine Dämpfung von etwa 25 dB und bei 4000 Hz noch höhere Dämmwerte aufwies. BECKMANN (2) verwies in diesem Zusammenhang bereits 1962 auf die Möglichkeit, den Audiometerhörer in Lärmschutzmuffen einzubauen, also auf die Verwendung von Spezialkopfhörern. Für die Schulaudiometrie ist ihre Benutzung anzuraten. In den USA wird für die Schulaudiometrie noch erheblich größerer Aufwand getrieben: Die Untersuchungen werden in Omnibussen durchgeführt, die eigens für diesen Zweck mit Hörprüfkabinen usw. ausgerüstet sind ("Ohio-Hörkreuzer"). Wenn man bedankt, daß es durch den Störlärm in nicht schallgeschützten Untersuchungsräumen zu zahlreichen Fehlaussonderungen Normalhörender kommen kann, die dann kostspielige und zeitraubende audiometrische Volluntersuchungen nach sich ziehen (BECKMANN (3)), so erscheint ein derartiger Aufwand nicht einmal ungerechtfertigt.

Noch höhere Störschallpegel als bei der Schulaudiometrie sind bei Reihenuntersuchungen in Lärmbetrieben zu erwarten. Je nach Art des Betriebes werden verschiedene Geräuschanteile

vorherrschen. DIEROFF (8) hat die Industriegeräusche nach ihrer spektralen Energieverteilung folgendermaßen eingeteilt:

1. Geräusche mit vorwiegend niederfrequenten Komponenten bis 800 oder 1000 Hz,
2. Geräusche mit vorwiegend hochfrequenten Komponenten von 2500-10 000 Hz,
3. Geräusche mit vorwiegend mittelfrequenten Komponenten von 800-2500 Hz,
4. Geräusche mit gleichmäßiger Verteilung aller Frequenzen (sogenannte quasi weiße Geräusche),
5. Geräusche mit vorwiegend einem oder mehreren den Gesamtschallpegel weitgehend bestimmenden Schmalbandgeräuschen oder reinen Tönen.

Für audiometrische Untersuchungen sind die tief- und mittelfrequenten Geräuschanteile besonders nachteilig. DIEROFF berichtet über Reihenuntersuchungen, die trotz Wahl eines möglichst ruhigen Raumes von hohen Störpegeln belastet waren. Es mußte daher noch eine Hörschwelle bei 15-20 dB Hörverlust als "normal" beurteilt werden. In ähnlicher Weise rechnete PELL (zit. n. DIEROFF) Personen, die einen Hörverlust bis 20 dB in allen Prüffrequenzen aufwiesen, noch zu den normalhörenden. Einstellungs- und Kontrollaudiogramme von Lärmarbeitern sind aber wichtige Dokumente für die Beurteilung der Entstehung und des Verlaufs von Lärmhörschäden. Ist ihre Aussagekraft durch Verfälschungen infolge Störlärms während der Ausgangsuntersuchung eingeschränkt, so kann dies schwerwiegende sozialmedizinische Konsequenzen haben. Nach der in Entstehung begriffenen Unfallverhütungsvorschrift "Lärm" der Arbeitsgemeinschaft der gewerblichen Berufsgenossenschaften der BRD sollen bei allen Arbeitern, die am Arbeitsplatz einem Geräuschpegel

von mehr als 90 dB (A) ausgesetzt sind, audiometrische Reihenuntersuchungen zur Vorselektion vorgenommen werden. Es versteht sich von selbst, daß derartige Untersuchungen um so notwendiger sind und um so häufiger durchgeführt werden, je lärmintensiver der Betrieb ist. Um so höher ist aber auch der Störpegel während der Untersuchungen und damit die Fehlerquote zu erwarten. In England werden aus diesem Grunde bereits umgebaute Omnibusse als mobile Untersuchungseinheiten eingesetzt, deren Hörprüfkabinen sogar gegen Industrie-Störschall ausreichend gesichert sind (CHADWICK (6)).

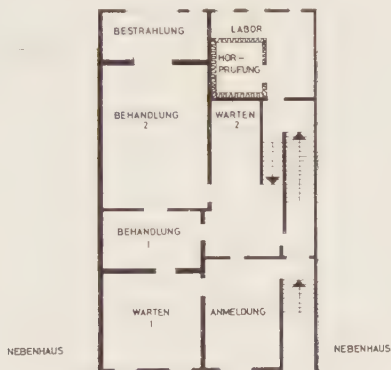
3.3. Folgerungen für die Einrichtung von Hörprüfräumen

In der Großstadtpraxis wird infolge der höheren Verkehrsdichte im allgemeinen mit einem höheren Lärmpegel zu rechnen sein als in Klein- oder Mittelstadtpraxen. Außer dem mehr oder weniger kontinuierlichen Straßenlärm kommen in der Großstadt noch andere Geräuschquellen, z.B. der Flugbetrieb, als Störfaktoren in Betracht.

Eine Geräuschminderung kann schon durch geeignete Lage des Hörprüfraumes erreicht werden. MAHLBROCK (17) hat das an einem Beispiel eingehend erläutert. Der Straßenlärm betrug 56 dB mit Spitzenwerten von 90-92 dB, der Lärmpegel an der Gartenseite lag um 30 dB niedriger. Eine Installation des Hörprüfraumes an der Straßenseite hätte aufwendige Konstruktionen mit 60 dB Schalldämmung notwendig gemacht. Durch Unterteilung des zum Garten gelegenen Labors konnte ein Hörprüfraum erstellt werden, der nirgendwo an Außenmauern grenzte und mit einer Schalldämmung von ca. 40 dB auskam (Abb. 9).

Garten: Schallstärkeschwankungen 61-75 dB.

Garten: Schallstärkeschwankungen 61-75 dB.



Ruhige Straße: Schallstärkeschwankungen 58,5 dB-92 dB.

Ruhige Straße: Schallstärkeschwankungen 58,5 dB-92 dB.

Abb. 9 Grundriß einer ohrenärztlichen Praxis.

Nach Bestimmung der Schallstärke straße- und gartenwärts wurde ein Hörprüfraum im Labor installiert (aus HAHLBROCK (17))

Der Störgeräuscheinfluß kann ferner durch überlegte Wahl der Untersuchungszeit verringert werden. Für die Audiometrie eignen sich Zeitabschnitte mit geringer Verkehrsdichte am besten; während des Spitzenverkehrs sollten audiometrische Untersuchungen möglichst nicht durchgeführt werden.

Der Umfang der bauakustischen Maßnahmen richtet sich nicht nur nach der Intensität und Art des Störgeräusches, sondern auch nach der Zweckbestimmung des Hörprüfraumes. Audiometrische Untersuchungen zu wissenschaftlichen Zwecken erfordern einen niedrigeren Geräuschpegel im Hörprüfraum als Routineuntersuchungen. KELLER (19) hat zwischen Routine-

Audiometrie, wissenschaftlicher Audiometrie und reflexionsfreien Räumen unterschieden und für jede Kategorie Grenzkurven des Störgeräusches angegeben (Abb. 10). Für breitbandige Geräusche sind höhere Pegel zulässig als für Schmalbandgeräusche. Im Hinblick auf diese Anforderungen untersuchte KELLER vier verschieden gelegene Räume auf ihre Eignung für audiometrische Zwecke (Abb. 11).

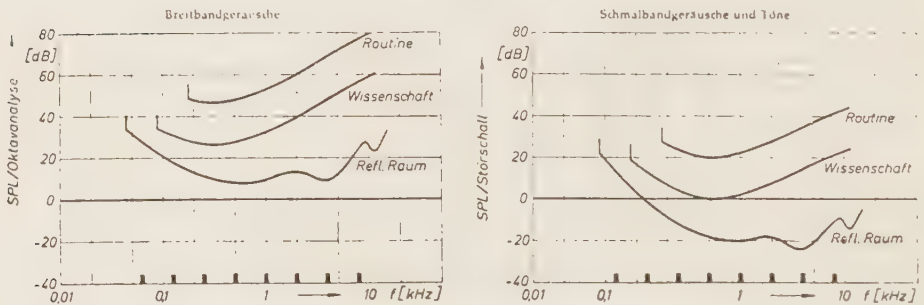


Abb. 10 Anforderungen an Audiometerräume verschiedener Zweckbestimmung. Die jeweiligen Grenzkurven sollten nicht überschritten werden (aus KELLER (19)).

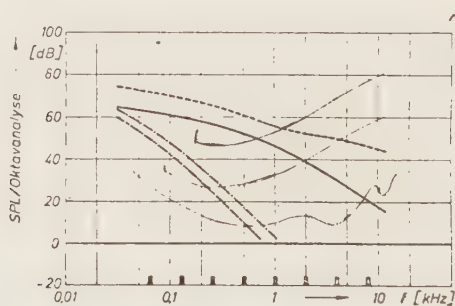


Abb. 11 Beispiele von Beurteilungen von Räumen bezüglich ihrer Eignung für audiometrische Zwecke, vgl. Abb. 10 (aus KELLER (19)).

— Raum A, gelegen an straßenseitiger Gebäudeflucht.
Häufige Störung durch den Verkehr vorwiegend infolge ungenügender Dämmung an der Außenfront. Für audiometrische Messungen kaum brauchbar.

— — — Raum B, gelegen im Gebäudeinneren innerhalb einer Gruppe von Räumen, wenn zu den übrigen kein Zutritt erfolgt. Störung vorwiegend durch Trittschall vom Obergeschoß her. Für Routinemessungen gut geeignet.

— — — Raum B, gelegen im Gebäudeinneren innerhalb einer Gruppe von Räumen, wenn in den übrigen routinemäßiger audiometrischer Meßbetrieb herrscht. Störung vorwiegend durch Trittschall, Türeenschlagen und Sprachabstandsprüfung von vorgelagertem, schallgedämpftem Stichflur infolge ungenügender Unterteilung des Estrichs, hart schließen der Türklinken und mangelhafter Dämmung der Zugangstür. Für Routinemessungen bedingt verwendbar infolge tragbarer Lärmhäufigkeit.

— — — — Raum C, gelegen im Gebäudeinneren. Störung vorwiegend durch Trittschall und Türeenschlagen benachbarter Geschosse. Für Routinemessungen sehr gut geeignet, für wissenschaftliche Audiometrie bis zu einer unteren Grenzfrequenz von 250 Hz verwendbar.

Der Raumgeräuschpegel eines Hörprüfraumes ist bei gegebenem Außenschall von der Dämmung seiner Wandelemente abhängig. Die Schalldurchlässigkeit einer Wand ist um so geringer, je größer ihre Reflexions- und Absorptionswerte sind. Vollständig werden Schallwellen nach TRENDLENBURG (41) nur dann reflektiert, wenn die Schallkennimpedanz des Ausbreitungsmediums, d.h. also praktisch der Luft, und des Wandmaterials sehr verschieden sind. Hauptsächlich muß die Schalldämmung also durch Absorption erfolgen. Sie wird vom Material und der Stärke der Wand bestimmt. Den mittleren

Dämmwert von Einfachwänden im Frequenzbereich 100-3000 Hz gibt HAHLBROCK (16) mit 40-50 dB an. Eine erhebliche Gewichtersparnis läßt sich durch Mehrfachtrennwände erzielen. Zum Beispiel haben Vierfachtrennwände von einem Gesamtgewicht von 50 kg/m^2 den gleichen Dämmeffekt wie eine 0,5 m starke Vollziegelwand, die 1000 kg/m^2 wiegt, nämlich 55 dB (HAHLBROCK (16)). Die typischen akustischen Lecks eines Hörprüfraums, also die mobilen Wandelemente Türen und Fenster, können durch Verwendung von Doppelfenstern und Doppeltüren abgedichtet werden; verbleibende Spalten werden mit Isoliermaterial ausgekleidet.

Grundsätzlich ist der Aufwand für die Störschallabdämmung um so höher, je tiefere Frequenzen ferngehalten werden sollen. Die größten Schwierigkeiten bereiten Vibrationen und Trittschall. Wirksame Maßnahmen lassen sich im allgemeinen nur in audiologischen Zentren realisieren. Der Einfluß von Vibrationen auf die Genauigkeit von Hörschwellenangaben ist allerdings unbedeutend (42, 43). Tieffrequente Reste des Störschalles dagegen dürften in den meisten Hörprüfräumen wirksam sein.

Hörprüfungen über Lautsprecher erfordern besondere Eigenschaften der Innenwände des Hörprüfraumes, damit ein annähernd freies Schallfeld hergestellt wird. Dies gilt insbesondere für bestimmte sprachaudiometrische Untersuchungen. Durch Anbringen von porösen Schluckstoffen oder Lochplatten an den Wänden soll die Nachhallzeit auf maximal 0,5 sec herabgesetzt werden.

In Fällen, wo bauakustische Maßnahmen nicht ausreichen oder einen unangemessenen finanziellen Aufwand erfordern würden, kann als Hörprüfraum eine fabrikmäßig hergestellte oder vorgefertigte Hörkabine benutzt werden. HAHLBROCK(17) hat hierfür Richtlinien publiziert (Abb. 12). Als Dämmwerte

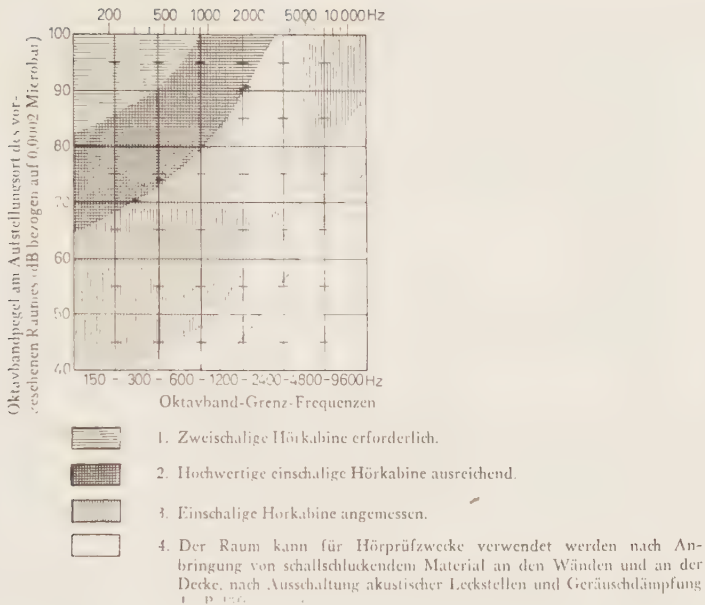


Abb. 12 Empfehlungen an Audiometerräume zur Prüfung Normalhörender nach ASA S. 3-1960.
Man trage den Schallpegel des Geräusches gemessen im jeweiligen Oktavband in obiges Schema ein und stelle den höchsten Bereich fest, in den diese Werte fallen. Daraus ergibt sich Folgerung 1-4 aus HAHLBROCK (17)

für eine zweischalige Hörkabine werden vom Hersteller genannt: (46)

Frequenz	Dämmwert
150-300 Hz	28 dB
300-600 Hz	36 dB
600-1200 Hz	42 dB
1200-2400 Hz	48 dB
2400-4800 Hz	50 dB
4800-10 000 Hz	53 dB

Für eine hochwertige einschalige Hörkabine gilt: (45)

Frequenz	Dämmwert
100 Hz	18 dB
250 Hz	24 dB
500 Hz	30 dB
1000 Hz	37 dB
2000 Hz	41 dB
4000 Hz	43 dB
6300 Hz	42 dB

Auch die Hörkabinen zeigen also die typische Frequenzabhängigkeit ihrer Schalldämmung, nämlich für tiefere Frequenzen eine geringe und für die höheren Frequenzen eine stärkere Dämmung. Der allgemeinen Anwendung solcher Hörkabinen steht ihr zur Zeit noch recht hoher Preis entgegen, der in der Größenordnung eines Mittelklassewagens liegt. Kostengünstigere Schallschluckkabinen weisen erheblich geringere Dämmeffekte auf. Die von WAGNER und MALER (44) entwickelte dämmt z.B. 200 Hz nur um 10 dB, 1000 Hz um 20 dB und 10 000 Hz um 7 dB.

Höhere Anforderungen als an den Hörprüfraum des frei praktizierenden HNO-Arztes müssen an die Audiometrieräume einer HNO-Klinik gestellt werden. Wegen der häufigeren und längeren Frequentierung der Untersuchungsräume sind Tageslicht und Klimaanlage wünschenswert, ferner eine Abschirmung gegen Bodenschwingungen. Die Schalldämmung soll nach EWERTSEN (10) im Frequenzgebiet 125-4000 Hz mindestens 50 dB betragen, die Nachhallzeit 0,2 Sekunden nicht überschreiten.

Für psychoakustische Forschungsvorhaben werden vollkommen schalldichte und reflexionsfreie Räume benötigt. In mehreren audiologischen Zentren, auch der BRD, sind bereits sog. "schalltote" Räume gebaut worden, die durch die Verwendung von HELMHOLTZ-Resonatoren und Keilabsorbieren einen Schluckgrad von fast 100 % aufweisen und deren Nachhallzeit den 0-Sekunden-Wert fast erreicht. Da zwischen den lichten Raummaßen und der tiefsten Schallfrequenz, die verwendet werden soll, durch die Wellenlänge von Luftschallwellen eine Beziehung besteht, muß ein schalltoter Raum, in dem man z.B. mit Frequenzen um 100 Hz arbeiten will, lichte Weiten

von mindestens 3,4 m in allen Richtungen aufweisen (20). Die Ausschaltung des Körperschalles wird durch Raum-in-Raum-Konstruktionen und Aufbocken des Hörprüfraumes auf besondere Dämmbügel erreicht. Auch wenn MOTHWURF (29) die Kosten für die Errichtung eines schalltoten Raumes in einer HNO-Klinik mit nur 15 000 S angibt, wird man davon ausgehen müssen, daß die Kosten im allgemeinen weit höher liegen und nur von Großkrankenhäusern und Forschungsanstalten getragen werden können.

3.4. Indikation und Durchführung schwellenaudiometrischer Untersuchungen im Schallstärkebereich der Normalhörschwelle

Gegen kostspielige Maßnahmen des Störschallschutzes für Hörprüfräume wird nicht selten eingewendet, die Audiometrie diene doch der Feststellung einer Schwerhörigkeit, und der Schwerhörige, besonders wenn er sogar schon in der Sprachwahrnehmung behindert sei, höre den Störschall ohnehin nicht. Das trifft für einen Teil der Schwerhörigkeitsformen zwar zu, jedoch keineswegs für alle Typen von Hörstörungen, und ist im Hinblick auf audiometrische Reihenuntersuchungen grundsätzlich unrichtig. Da ein immer größerer Anteil der Patienten, die mit normalem oder fast normalem Gehör audiometriert werden müssen und demzufolge an die Raumakustik im Untersuchungszimmer besonders hohe Anforderungen stellen, aus reihenaudiometrisch ausgesonderten Personen besteht, muß in diesem Zusammenhang auf die vereinfachten elektroakustischen Hörprüfverfahren noch einmal eingegangen werden.

Früher wurden Reihenuntersuchungen durchweg mit Flüstersprache, also mit hochfrequenten Schallsignalen, durchgeführt. Vergleichende Untersuchungen mit Flüstersprache und Audiometer haben indessen die geringe Zuverlässigkeit der ersteren erwiesen. SULLIVAN u. HODGES (40) untersuchten 4687 kanadische Luftwaffensoldaten mit Flüstersprache und mit Tonaudiometer. Audiometrisch zeigten 9 % einen Hörverlust, während die Prüfung mit Flüstersprache nur 1 %

Hörgeschädigte aufwies. Auch für schulaudiometrische Reihenuntersuchungen reicht die Flüstersprache nicht aus, wie HOLMGREN 1952 feststellte (zit. nach HAHLBROCK (16)): 32 885 Volksschulkinder aus Norrland (Schweden) wurden zunächst mit Flüstersprache geprüft und dann mit Tonaudiometern nachuntersucht. Die Tonaudiometrie deckte fünfmal häufiger eine Hörstörung auf als der Flüstersprachtest. Auf die Bedeutung audiometrischer Reihenuntersuchungen bei der Einstellung von Lärmarbeitern bzw. der laufenden Kontrolle ihres Hörvermögens wurde bereits hingewiesen. Auch bei Vorsorgeuntersuchungen im Rahmen des Jugendarbeitsschutzgesetzes gewinnen schwellenaudiometrische Prüfungen mehr und mehr an Bedeutung. In der Regel wird hier ein normaler oder praktisch normaler Verlauf der Hörschwellenkurve zu erwarten sein. Er muß aber durch die Untersuchung wirklich dokumentiert werden können, denn diese liefert den Ausgangswert, an dem sich spätere Kontrollen zur Beurteilung des Verlaufs einer Hörschädigung zu orientieren haben(18). Die Eignungsprüfungen für bestimmte Berufszweige, die besondere Anforderungen an das Hörvermögen stellen, schließen eine schwellenaudiometrische Prüfung ein. Audiometrische Untersuchungen bei der Musterung sind zwar noch nicht allgemein üblich; man wird sich aber der Audiometrie bedienen, wenn die Glaubwürdigkeit behaupteter Wehruntauglichkeit infolge eines Gehörleidens zu überprüfen ist, oder wenn ein einwandfreies Hörvermögen gesichert werden soll, wie es für bestimmte Laufbahnen und Waffengattungen gefordert wird. Auch durch den Schießdienst entstandene akustische Traumen können nur durch den Vergleich mit einem Basisaudiogramm gesichert werden.

Bei allen genannten Personenkreisen werden die audiometrischen Untersuchungen in Form von vereinfachten Kurztests vorgenommen, weil diese allein die audiometrische Erfassung großer Probandenkollektive möglich machen. Dem HNO-Arzt

fällt die Aufgabe zu, die bei den Reihenuntersuchungen als Verdachtsfälle ausgesonderten Personen nachzuuntersuchen und ein vollständiges Schwellenaudiogramm aufzunehmen. Er wird es dabei vorwiegend mit Patienten zu tun haben, deren Hörvermögen normal, annähernd normal oder nur in umschriebenen Frequenzbereichen beeinträchtigt ist. Die Sicherstellung einer normalen Hörschwelle in allen Frequenzen setzt wiederum voraus, daß auch tatsächlich die Ruhehörschwelle und nicht die durch Störgeräusch im Untersuchungsraum verschobene Hörschwelle - sozusagen das "Hören im Lärm" - geprüft wird.

4. Eigene Untersuchungen

4.1. Problemstellung

Wie die vorstehenden Ausführungen zeigen, müssen an Hörprüfräume in Klinik und Praxis relativ hohe akustische Anforderungen gestellt werden. Die Bestimmung der Luftleitungshörschwelle und damit die wichtigste und am häufigsten vorgenommene hördiagnostische Verrichtung mit dem Audiometer kann nur dann in allen wichtigen Prüffrequenzen und bei allen Patienten exakte Ergebnisse liefern, wenn der Störgeräuschpegel am Ohr der Untersuchungsperson bestimmte Werte nicht überschreitet. Die zulässigen Pegel sind frequenzabhängig, sie ergeben sich aus dem - ebenfalls frequenzabhängigen - Verlauf der menschlichen Normalhörschwelle. Die Intensität und Energieverteilung der Störgeräusche, die in den heutigen verkehrsreichen Wohngegenden und Geschäftsvierteln auftreten, bedingen in Zusammenhang mit der Dämmcharakteristik von Gebäudewänden, Türen und Fenstern, daß die erforderliche Störgeräuschdämpfung nur mit großem Aufwand gewährleistet werden kann. Einwandfreie Hörprüfräume sind aus Kostengründen nicht nur in der freien Praxis, sondern auch in der Klinik vielfach nicht vorhanden.

Ein wesentlicher Grund hierfür liegt in der krassen Unterbewertung hördiagnostischer Vorrichtungen in den ärztlichen Gebührenordnungen.

Um so größere Bedeutung kommt dem Störgeräuschschutz des eigentlichen Prüfschallfeldes bei der Luftleitungsaudiometrie, also dem Luftraum zwischen Hörermembran und Gehörorgan zu. Er hängt vom Dämmwert der verwendeten Kopfhörermuffe ab, die das Ohr umschließt. Ein Kopfhörer mit gut dämmender Muffe oder Kapsel vermag die Mängel eines nicht optimalen Hörprüfraumes bei der Luftleitungsmessung auszugleichen. Die Kombination von wenig aufwendigem Hörprüfraum und gut schalldämmenden Kopfhörern wird damit zu einer interessanten und auch unter den heutigen Verhältnissen realisierbaren Lösung.

Um die Vorzüge, Möglichkeiten und Grenzen dieser Kombination zu ermitteln, war es zunächst notwendig, den Dämmeffekt von normalen und Spezialkopfhörern bei audiometrischen Untersuchungen zu prüfen. Die von den Herstellerfirmen angegebenen und zum Teil von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig publizierten Dämmwerte von Schallschutzkapseln sind im freien Schallfeld mit ebenen fortschreitenden Schallwellen gemessen worden. In Audiometerräumen baut sich dagegen meist ein diffuses Schallfeld auf. Im diffusen Schallfeld liegen die Dämmwerte, wie FISCHER (14) gezeigt hat, ungünstiger. Auf der anderen Seite kann damit gerechnet werden, daß Umweltstörschall infolge seiner geringeren Frequenzdichte die Sinustöne des Audiometers weniger verdeckt, als nach den in Oktav- oder Terzbreite gemessenen Geräuschanalysen zu erwarten steht.

Unter diesen etwas verwickelten und noch nicht völlig geklärten Voraussetzungen war eine Antwort auf die Frage, in welchem Maße Umweltstörschall bei der Luftleitungsprüfung die Audiometertöne tatsächlich verdeckt, und um welchen

dB-Betrag der Verdeckungseffekt wiederum mit Hilfe von Spezialkopfhörern vermindert wird, nur durch Probandenversuche unter wirklichkeitsnahen Bedingungen zu erwarten.

Die Versuchsergebnisse sollten dann die bei Verwendung konventioneller und störschallgeschützter Kopfhörertypen zulässigen Störschallpegel in Hörprüfräumen abschätzen lassen.

Die zweite Frage war, mit welchen Störschallpegeln in vorhandenen und benutzten Audiometerräumengerechnet werden muß. Um hiervon ein einigermaßen repräsentatives Bild zu erhalten, waren Geräuschpegelmessungen und grobe Geräuschanalysen in Audiometrieräumen erforderlich.

4.2. Methodik und Material

Es wurden schwellenaudiometrische Messungen unter Verwendung zweier verschiedener Kopfhörer bzw. Kopfhörermuffen in zwei Räumen durchgeführt, von denen der eine einen bedeutend höheren Geräuschpegel aufwies als der andere.

Als geräuscherfüllter Raum bot sich der Untersuchungsraum der Universitäts-HNO-Poliklinik Marburg an. Seine lichten Maße betragen 12 X 8 X 3,5 m; er ist bis auf eine an den geräuscharmen Hinterhof grenzende Wand allseits von Nebenräumen umgeben. Straßenlärm in größerem Ausmaß dringt daher nur bei geöffneten Türen aus den Nebenräumen ein. Er vermischt sich dann mit den in der Poliklinik selbst entstehenden Geräuschen. - Die Nachhallzeit wurde mit 0,7 sec gemessen. Der Boden besteht aus PVC, die Wände sind 2 m hoch gekachelte und nur die Decke ist mit Schallabsorptionsplatten verkleidet. Die Nachhallzeit wurde mit 0,7 sec gemessen.

Während der poliklinischen Sprechstunde wurde an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Zeiten zwischen 10 und 13 Uhr

der Geräuschpegel gemessen und Oktavanalysen des Raumgeräusches angefertigt. In unmittelbarem Anschluß daran erfolgten die audiometrischen Prüfungen.

Als geräuscharmen Raum wählten wir ein Labor der Audiologischen Abteilung der Klinik aus, das als Abhörraum bei sprachaudiometrischen Untersuchungen und Hörgeräteproben dient. Seine lichten Maße betragen 3 X 3 X 2,8 m; es ist allseits von anderen Räumen umgeben. Wände und Decke sind mit Dämmmaterial und Schallabsorptionsplatten verkleidet, der Boden mit Teppich ausgelegt. Die einzige Tür führt zum akustischen Labor der Abteilung, sie ist als Schalldämmtür mehrwandig ausgeführt. Die Nachhallzeit wurde mit 0,1 sec gemessen. Über diesem Labor befindet sich die Poliklinik, von der infolge ungenügender Trittschalldämmung zeitweilig hörbare Störgeräusche eindringen.

Hier wurde die gleiche Anzahl von Geräuschmessungen und -analysen wie im poliklinischen Behandlungsraum vorgenommen, jeweils vor den audiometrischen Prüfungen.

Für die raumakustischen Untersuchungen fand ein tragbarer, batteriebetriebener Schallpegelmesser vom Typ Brüel & Kjaer 2203 Verwendung (Abb. 13). Sein Meßbereich umfaßt die

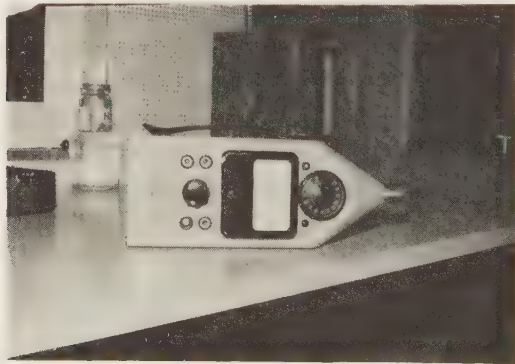


Abb. 13 Schallpegelmesser vom Typ Brüel & Kjaer 2203

Frequenzen von 2 Hz bis 18 kHz und Pegel von 20-120 dB. Von der linearen kann auf bewertete Messung umgeschaltet werden; drei Bewertungsfilter A, B und C ahmen angenähert die intensitäts- und frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Ohres nach, A für Pegel bis 60 dB, B für 60-90 dB und C für Pegel über 90 dB. Das Mikrophon B & K 4131 weist bei Bestückung mit einem Diffusor eine annähernd kugelförmige Richtcharakteristik auf. Für Frequenzanalysen des Raumgeräusches wurde der Schallpegelmesser mit einem Terz-Oktav-Filter Brüel & Kjaer 1612 verbunden (Abb. 14).

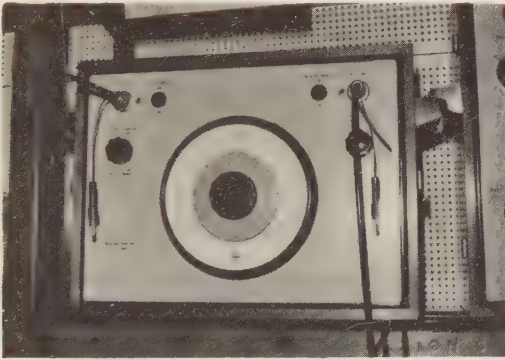


Abb. 14 Oktavfilter der Firma Brüel & Kjaer, Typ 1612

Die mittleren Schallpegel wurden mit kleiner Anzeigegeschwindigkeit (slow) gemessen, schnell wechselnde Pegel mit großer Anzeigegeschwindigkeit (fast).

Die Aufnahme der Hörschwellenkurven erfolgte mit zwei verschiedenen Typen von Audiometern:

1. Atlas EM (Abb. 15) mit den Prüffrequenzen 64, 128, 256, 1024, 1448, 2048, 2896, 4096, 5792, 8192 und 11 584 Hz.

Die Prüfschallstärken sind in 5-dB-Stufen unterteilt.

Die Aufzeichnung der Hörschwellen erfolgt halbautomatisch durch Ausführung des Lautstärke- und Frequenzwählers als Lochschablone. Stromversorgung durch Netz. Dieses Gerät ist mit einem Kopfhörer Beyer DT 48 mit normaler Schaumgummi-Flachmuffe ausgestattet (Abb. 16).

2. Madsen TBN (dänisches Fabrikat, Abb. 17) mit den Prüffrequenzen 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz, Intensitätsabstufung ebenfalls in 5-dB-Schritten; die Frequenz- und Intensitätseinstellung erfolgt mit Drehknöpfen. Das Gerät ist batteriebetrieben. Die Kopfhörer vom Typ TDH 39 sind in geräuschkämpfende Spezialmuffen ME 70 eingebaut (Abb. 18).

Beide Audiometer entsprechen den Normvorschriften nach DIN 45 620 bzw. 45 623 und unterlagen während unserer Untersuchungen dauernden Eichkontrollen. Die Frequenzdifferenzen zwischen der C-Tonreihe des Atlas-Audiometers und den abgerundeten Frequenzzahlen des Madsen-Audiometers überschreiten nicht die zulässige Frequenztoleranz von $\pm 5\%$.

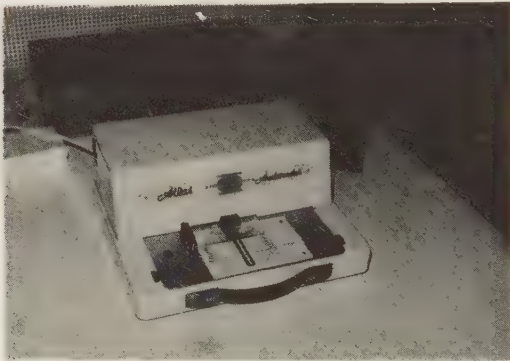


Abb. 15 Atlas-Audiometer Typ EM 42

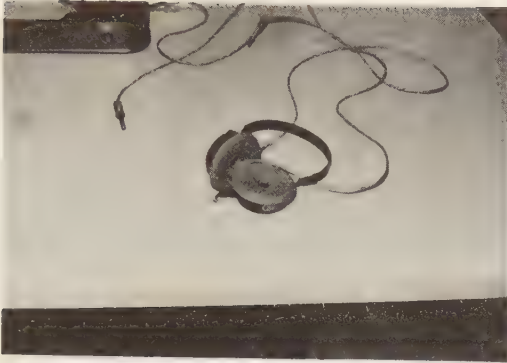


Abb. 16 Beyer Kopfhörer DT 48 mit Schaumgummiflachmuffe



Abb. 17 Batterie-Audiometer Madsen Electronic TBN 60

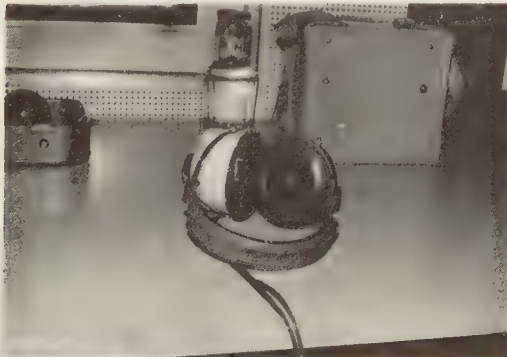


Abb. 18 Spezialkopfhörer vom Typ TDH 39 (Madsen Electronic)
mit Spezialmuffe ME 70

Als Versuchspersonen wurden 30 auf beiden Ohren normalhörige Patienten im jugendlichen Alter ausgewählt, vorwiegend Studenten und Schüler. 23 waren männlichen und 7 weiblichen Geschlechts. Die normale Hörschwelle war bei allen Probanden vor kurzer Zeit von einem HNO-Facharzt audiometrisch festgestellt worden, sie wurde zusätzlich durch die eigene audiometrische Prüfung im störschallarmen Raum kontrolliert. Von jedem Patienten wurden 4 Tonschwellen-Audiogramme rechts und links, insgesamt also 8 Luftleitungs-Schwellenkurven, aufgenommen: Mit Atlas-Audiometer (normale Kopfhörer) im geräuscherfüllten Raum, mit Madsen-Audiometer (Spezialkopfhörer) im geräuscherfüllten Raum, mit Atlas-Audiometer im geräuscharmen Raum und mit Madsen-Audiometer im geräuscharmen Raum. Die mitgeteilten Ergebnisse basieren mithin auf 240 audiometrischen Luftleitungs-Schwellenkurven.

Der Dämmeffekt der beiden Kopfhörer wurde mit Sinustönen durch subjektiven Hörschwellenvergleich im schalltoten Raum der Audiologischen Abteilung unter den Bedingungen des annähernd freien Schallfeldes bestimmt. Als Prüfschallquelle diente ein HiFi-Lautsprecher. Der Schallpegel am Ohr des Probanden wurde mit Meßmikrophon Brüel & Kjaer 4131 kontrolliert. Zunächst wurde die Schwellenkurve mit einem unbedeckten Ohr, dann bei aufgesetztem Kopfhörer gemessen. Das Gegenohr war mit Spezialkopfhörer bedeckt und zusätzlich mit Ohropax verschlossen. Die Differenz zwischen beiden Kurven entspricht der Dämmung des Kopfhörers bzw. seiner Muffe für Sinustöne in der annähernd eben fortschreitenden Schallwelle.

Um einen Überblick über die Störgeräusche zu gewinnen, die bei audiometrischen Untersuchungen in HNO-Praxen einwirken, wurden 30 hessische HNO-Fachärzte aufgesucht und in ihren Hörprüfräumen Schallpegelmessungen vorgenommen. Als Meßgerät diente wieder der Schallpegelmesser Brüel & Kjaer 2203.

Terz- und Oktavanalysen der Raumgeräusche ließen sich bei den Praxisbesuchen aus technischen Gründen nicht durchführen; jedoch wurde stets eine unbewertete und eine nach dB(A) bewertete Pegelmessung durchgeführt. Da bei der A-bewerteten Messung die tiefen Frequenzen abgeschwächt sind, ließ sich aus der Differenz zwischen linearem (also unbewerteten) und nach dB(B) bewertetem Pegel der Energieanteil der tiefen Frequenzen abschätzen. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, daß während dieser Untersuchungen annähernd die gleichen akustischen Verhältnisse herrschten, unter denen der betreffende HNO-Facharzt seine audiometrischen Prüfungen vornahm.

4.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind nachstehend nicht in der Reihenfolge der Untersuchungsabschnitte, sondern in der für die Schlußfolgerungen logischen Gliederung aufgeführt.

4.3.1. Raumakustik

4.3.1.1. HNO-Praxen

15 der besuchten Fachärzte waren in Großstädten, 15 in Städten mit weniger als 50 000 Einwohnern niedergelassen. Folgende räumliche Einrichtungen für die Audiometrie wurden vorgefunden:

Einrichtungen	Zahl	Bemerkungen
Hörprüfkabinen	3	1 industriell gefertigt, 2 Eigenbau
Abgeteilte Räume für Audiometrie ohne besondere bauakustische Maßnahmen	6	überwiegend kleine, fensterlose Räume zwischen Behandlungs- und Bestrahlungszimmer
Audiometrie in den allgemeinen Praxisräumen	15	im allgemeinen hoher Störschall infolge großer Fenster und Fehlens bauakustischer Vorkehrungen
Audiometrie in Ersatzräumen, die hauptsächlich anderen Zwecken dienen	6	meist Flur; in einer Großstadtpraxis Besenkammer, da alle anderen Praxisräume viel zu laut

Fünf weitere aufgesuchte Fachärzte besaßen weder ein Audiometer noch einen besonderen Hörprüfraum. In diesen Praxen unterblieben die Geräuschemessungen.

Der höchste Geräuschpegel in dem jeweils für die Audiometrie benutzten Raum wurde mit 70 dB (lin) und 50 dB (A) in einer Großstadtpraxis, der niedrigste mit 30 dB (lin) und 20 dB (A) in einer Kleinstadtpraxis gemessen. Der Durchschnittswert aller Praxen betrug 55 dB (lin) und 40 dB (A).

Befragungen der Ärzte ergaben, daß die für audiometrische Untersuchungen bevorzugte Tageszeit von Praxis zu Praxis nur wenig differierte. Meist wurden die Stunden mit massiertem Verkehrslärm vermieden, während die Nachmittags- und frühen Abendstunden besonders beliebt waren.

4.3.1.2. Geräuscherfüllter Raum (Poliklinik)

Der (unbewertete) Geräuschpegel schwankte erheblich, die oberen Werte lagen zwischen 60 und 70 dB. Die Oktavanalyse des Raumgeräusches ergab folgende spektrale Energieverteilung:

Mittenfrequenz m_f der Oktavfilter (Hz)	Schallpegel (dB)
63	38
125	42
250	46
500	50
1000	46
2000	40
4000	32
8000	25

Die maximale Energie entfiel also auf den Frequenzbereich 125 bis 2000 Hz. Der Energieabfall nach den oberen Frequenzen hin ist geringer, als man ihn gemeinhin bei Raumgeräuschanalysen findet; die Ursache liegt in dem hohen Anteil der im Raum selbst entstehenden und daher praktisch ungedämpft an den Meßplatz gelangenden Geräuschkomponenten.

4.3.1.3. Geräuscharmer Raum (Labor der Audiologischen Abteilung)

Der unbewertete Störschallpegel schwankte zwischen 30 und 40 dB, der A-Schallpegel zwischen 18 und 25 dB. Der zeitweilig relativ hohe unbewertete Schallpegel ist durch Eindringen stark gedämpften Trittschalls von der darüber liegenden Poliklinik bedingt. Die Oktavanalyse des Geräusches ergab die nachstehende spektrale Energieverteilung:

Mittenfrequenz m_f der Oktavfilter f	Schallpegel
Hz	dB
63	25
125	15
250	18
500	15
1000	12
2000	13
4000	10
8000	8

Der Schallpegel war mithin in allen audiometrisch relevanten Oktavbändern um 13 bis 35 dB niedriger als im geräusch-erfüllten Raum. Ferner zeigt das Raumgeräusch den typischen Energieabfall nach den oberen Frequenzen hin, was auf stark gedämpften Außenlärm als Geräuschursache hinweist. Im Raum selbst entstehen keine nennenswerten Störgeräusche.

4.3.2. Hörschwellenprüfungen

4.3.2.1. Mit Kopfhörer Beyer DT 48 in Schaumgummiflachmuffe

Der Vergleich von je 60 Hörschwellenkurven in geräusch-erfülltem und geräuscharmem Raum ergab im Mittel eine Hörschwellenverschiebung von 11 bis 20 dB durch das Stör-geräusch des poliklinischen Behandlungszimmers. Die größten Hörschwellendifferenzen zwischen geräuscharmem und geräusch-erfülltem Raum lagen in den Frequenzen 256 bis 1024 Hz.

4.3.2.2. Mit Hörer TDH 39 in Schallschutzmuffe ME 70

Von den gleichen Probanden wurden je 60 Hörschwellenkurven im geräuscharmten und geräuscherfüllten Raum aufgenommen. Die Schwellenverschiebung betrug im Mittel 5 bis 10 dB, die größten Werte lagen in den Frequenzen 250 bis 1000 Hz.

Die Störschallabdämmung durch die Spezialhörmuffe erwies sich unter diesen Bedingungen also als um 6 bis 10 dB besser als die der konventionellen Schaumgummiflachmuffe. Die Ergebnisse sind in der untenstehenden Tabelle zusammengefaßt und in Abb. 19 audiographisch dargestellt.

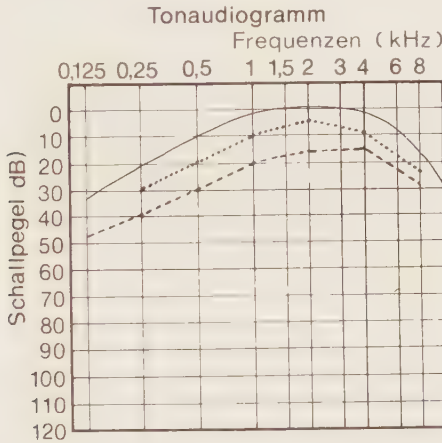


Abb. 19 Mittelwert der Hörschwellenverschiebung bei 60 normalhörenden Versuchspersonen (120 Ohren) durch das Raumgeräusch der Poliklinik

----- Kopfhörer mit Schaumgummiflachmuffe
..... Kopfhörer mit Schallschutzmuffe (ME 70)

Prüf- frequenz (abger.) Hz	Schwellenverschiebung durch Raumgeräusch der Poliklinik Schaumgummi- Flachmuffe	Schallschutz- muffe ME 70	Dämmwertverbesserung durch Schallschutz- muffe ME 70 in dB
125	14 dB	nicht prüfbar	
250	19 dB	9 dB	10
500	20 dB	10 dB	10
1000	18 dB	8 dB	10
2000	16 dB	6 dB	10
4000	12 dB	6 dB	6
8000	11 dB	5 dB	6

In der Frequenz 125 Hz konnten keine Vergleiche angestellt werden, weil das mit Spezialkopfhörern ausgerüstete Audiometer Madsen TBN 60 diese Frequenz nicht erzeugt.

Die Verdeckung der Audiometerprüftöne war mithin bei Verwendung eines störschallabweisenden Spezialkopfhörers deutlich geringer; allerdings fiel auf, daß der subjektive Höreindruck einen größeren Unterschied in der Schalldämmung zwischen beiden Hörertypen hätte vermuten lassen. Die bessere Schalldämmung der Spezialmuffe wirkt sich besonders in den Frequenzen bis 2000 Hz aus; die geringere Differenz in den oberen Frequenzen beruht darauf, daß hier auch schon der Normalhörer bzw. seine Schaumgummiflachmuffe eine bessere Abdämmung von Störschall bewirkt als im unteren Frequenzbereich.

4.3.3. Dämmwirkung der beiden Kopfhörertypen für Sinustöne im annähernd freien Schallfeld

Die einohrige Prüfung ergab folgende Hörschwellenverschiebungen durch Aufsetzen des (nicht betriebenen) Kopfhörers auf das Prüfohr:

Prüf- frequenz (Hz)	Schalldämmung durch aufgesetzten Kopfhörer (dB)	
	Beyer DT 48 mit Schaumgummiflach- muffe	TDH 39 mit Spezial- muffe ME 70
125	5 dB	15 dB
250	5 dB	15 dB
500	5 dB	15 dB
1000	10 dB	20 dB
2000	15 dB	25 dB
4000	20 dB	25 dB
8000	25 dB	30 dB

Diese Ergebnisse sind in Abb. 20 in ein Audiogrammformular mit Absolutdarstellung eingetragen.

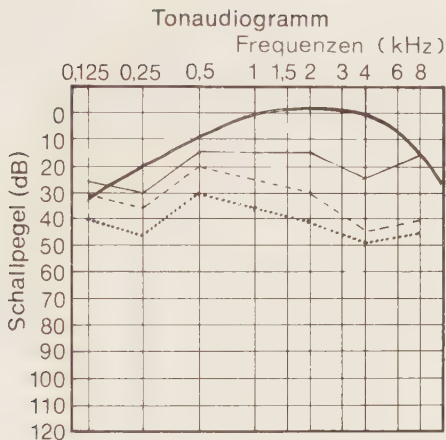


Abb. 20 Dämmwerte zweier Kopfhörer, einohrig im annähernd freien Schallfeld mit Sinustönen bestimmt

————— Hörschwelle des Probanden im freien Schallfeld
 ----- desgleichen mit aufgesetztem Kopfhörer Beyer DT 48 mit Schaumgummi-Flachmuffe
 desgleichen mit Kopfhörer TDH 39 mit Schallschutzmuffe ME 70

5. Diskussion und Folgerungen

5.1. Beurteilung der Audiometrieräume in HNO-Praxen

Die Differenz zwischen unbewertetem (55 dB) und A-bewertetem (40 dB) durchschnittlichem Störschallpegel besagt, daß die unteren Frequenzlagen die Hauptenergie des Raumgeräusches enthalten müssen. Der überwiegende Anteil des Geräusches stammt also von Außenlärm, dessen höher frequente Anteile durch Luft, Wände, Fenster usw. gedämpft werden; die im Raum selbst entstehenden Störgeräusche treten demgegenüber zurück. Die Lärmquellen sind im wesentlichen im Straßen-

verkehr zu suchen. Dieser weist nach NOVOTNYs Analysen bereits in der Nähe der Geräuscherzeuger eine nach den hohen Frequenzen abnehmende Schallenergieverteilung auf, auch wenn der Gesamtcharakter noch einem Breitbandgeräusch entspricht (Abb. 21). Infolge Dämpfung der oberen Frequenzen durch

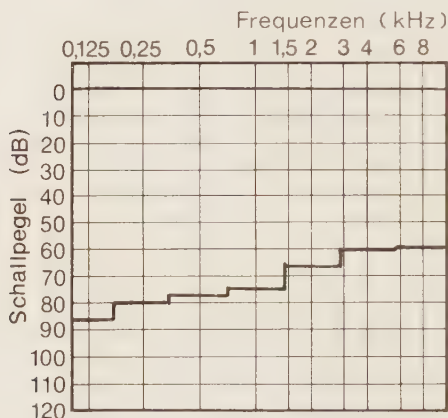


Abb. 21 Oktavanalyse des Straßenlärms an einem Wiener Verkehrsknotenpunkt (nach NOVOTNY (33)).

Luft- und Gebäudewände wird der Straßenlärm im Audiometrie-
raum des Arztes als überwiegendes Tieffrequenzgeräusch
wirksam; unrichtige Hörschwellenbestimmungen sind hauptsäch-
lich in den unteren Prüffrequenzen zu erwarten.

Von unmittelbarem praktischen Interesse ist nun die Frage,
ob Praxis-Hörprüfräume nach Art der untersuchten eine
verdeckungsfreie Hörschwellenbestimmung erlauben. Dabei
ist davon auszugehen, daß Kopfhörer mit Normalmuffen Ver-

wendung finden und daß es möglich sein muß, von einem Normalhörigen ein einwandfreies Audiogramm aufzunehmen, wie es insbesondere im Rahmen der präventiven Audiometrie vom HNO-Arzt gefordert und in Zukunft in weit größerem Umfang verlangt werden wird.

Der durchschnittliche unbewertete Pegel lag mit 55 dB um ca. 15 dB über dem Wert, der in den USA nach ASA 3.1 und ähnlich in der BRD als maximal zulässig gilt, und der A-Schallpegel mit 40 dB um 10 dB über dem von NIEMEYER als Störgeräuschgrenzwert angegebenen 30 dB (A). Nur in einigen Praxen wurde ein Störpegel von ≤ 40 dB (lin) und ein A-Schallpegel von ≤ 30 dB gemessen. Auch die von KELLER angegebenen Grenzkurven für Routine- und wissenschaftliche Audiometrie (s. Abb. 10) auf S. 30), auf die später noch näher eingegangen wird, dürften bei Umrechnung in dB (A) um mindestens 5-10 dB in den meisten der 30 Praxen überschritten sein. Demzufolge muß damit gerechnet werden, daß die Auffindung einer normalen Hörschwelle zumindest in den gebräuchlichen Prüffrequenzen unter den vorgefundenen raumakustischen Verhältnissen vielfach nicht gewährleistet ist.

5.2. Möglichkeiten und Grenzen der Verwendung von Spezialkopfhörern

Die einfachste und preiswerteste Abhilfe besteht, wie in Abschnitt 4.1 auf S. 37 ausgeführt, in einer auf das eigentliche Prüfschallfeld beschränkten Verbesserung des Störschallschutzes, d.h. im Einbau der Audiometerhörer in Schallschutzmuffen. Diese Maßnahme kann aber nur bei der Luftleitungsprüfung wirksam werden, nicht bei der separaten Innenohrprüfung über Knochenleitung, die mit unbedeckter Ohrmuschel erfolgen muß (oder - bei bedecktem Ohr - das Operieren mit wenig zuverlässigen Korrekturwerten erfordert).

Immerhin bieten die Spezialkopfhörer einen praktischen Vorteil: Wird in den unteren Frequenzen eine normale Luftleitungsschwelle gemessen, so muß die Knochenleitungsschwelle ebenfalls normal sein und braucht folglich nicht noch über Knochenleitung nachbestimmt zu werden. Auf die Erfassung eines normalen Hörvermögens in den unteren Frequenzen kommt es bei Perzeptionsschwerhörigen mit fallender Audiogrammkurve und bei der ohrenfachärztlichen Nachuntersuchung von Prüflingen, deren Screening-Audiogramme einen Verdacht auf Hörstörung ergeben haben, in erster Linie an.

Dieser Einschränkungen muß man sich bewußt sein, wenn der Effekt von Spezialkopfhörern beurteilt wird. Wie unsere vergleichenden Schwellenmessungen zeigten, ist ihr Dämmeffekt in den Frequenzen 250 bis 1000 Hz um ca. 10 dB besser zu veranschlagen als der von Flachgummimuffen.

Die durch Vergleich der Hörschwellenverschiebung im geräuscherfüllten Raum bei Verwendung von Normalhörern und Spezialhörern ermittelten Dämmwertdifferenzen entsprechen annähernd den im reflexions- und störschallfreien Raum mit Sinustönen gewonnenen Ergebnissen. Ist der Dämmwert eines Kopfhörers als Funktion der Frequenz bekannt, so läßt sich aus der Hörschwellenverschiebung, die beim Audiometrieren eines Normalhörigen in einem geräuscherfüllten Raum eintritt, eine grobe Frequenzanalyse des Raumgeräusches kalkulieren. In Abb. 22 ist die gemessene Spektralanalyse des Raumgeräusches in der Poliklinik der kalkulierten gegenübergestellt. Es zeigt sich allgemein eine gute Übereinstimmung; in den Frequenzen 500 und 1000 Hz sind die kalkulierten Oktavpegel sogar 15 und 10 dB kleiner als die gemessenen. Die tatsächliche Hörschwellenverschiebung durch das Raumgeräusch war also geringer und die Störschalldämmung damit - scheinbar - besser, als nach den exakten Messungen zu erwarten stand. Wahrscheinlich erklärt sich dies durch

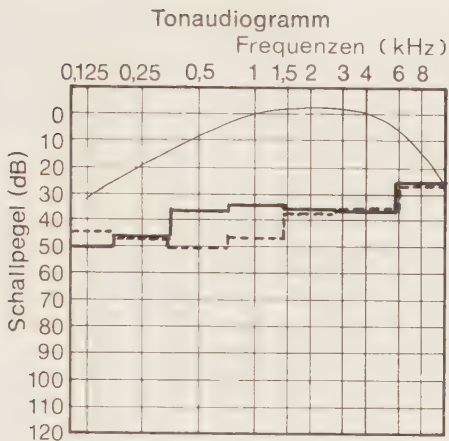


Abb. 22 Gemessene (----) und aus Dämmeigenschaften des Spezialkopfhörers und Hörschwellenverschiebung kalkulierte (—) Oktavanalyse des Raumgeräusches in der Poliklinik

Frequenzlücken im Raumgeräusch. Da derartige Verringerungen der Frequenzdichte indessen nur vorübergehend erwartet werden können, scheint die Annahme, die tatsächliche Schalldämmung eines Kopfhörers bzw. seiner Muffe sei höher zu veranschlagen als die gemessene, nicht zulässig.

Im übrigen bestätigte sich, daß bei Überwiegen gedämpften Außenlärms die maximale Prüftönverdeckung in den Frequenzen unter 1000 Hz eintritt. Mit einer störenden Verdeckung der Prüftöne oberhalb 1000 Hz ist nur zu rechnen, wenn sich Geräuschquellen im Prüfraum selbst befinden, wie es in der Poliklinik während unserer Untersuchungen der Fall war. Abb. 23 demonstriert das - jetzt in der gebräuchlichen Hörverlustdarstellung - am Vergleich der aus Abb. 3 (S.18) kalkulierten Hörschwellenverschiebung durch den

von COX et al. angegebenen, offenbar im unteren Frequenzgebiet besonders energiereichen Störschall, mit der tatsächlich bemessenen Hörschwellenverschiebung in der Poliklinik. Da es auch in der HNO-Praxis immer möglich sein

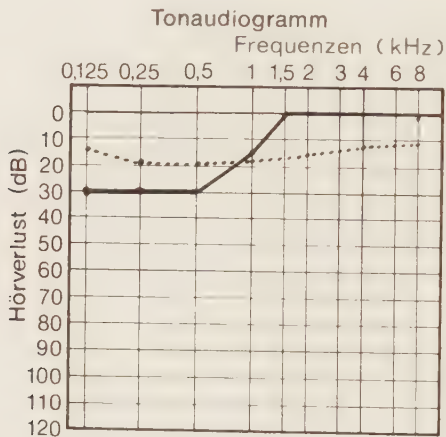


Abb. 23. Kalkulierte Hörschwellenverschiebung durch Störschall (nach Angaben von COX u. Mitarb. (Aus LEHNHARDT) 22))—— und gemessene Hörschwellenverschiebung in der Poliklinik

sollte, Geräuschquellen im Hörprüfraum selbst zu eliminieren, spielt die Gefahr von Fehlmessungen oberhalb 1000 Hz keine wesentliche Rolle. Die tieffrequenten Geräuschanteile des Verkehrslärms müssen weiterhin als wichtigster Störfaktor angesehen werden.

Die raumakustischen Vorbedingungen für eine exakte Schwellenaudiometrie sind erst erfüllt, wenn jeglicher Maskierungseffekt auf Prüftöne bis herunter zu 125 Hz entfällt. Finden

Kopfhörer mit normalen Schaumgummiflachmuffen Verwendung, so sind die zulässigen Oktavpegel im unteren Frequenzbereich äußerst gering; sie dürften ohne aufwendige bauakustische Maßnahmen nur in Ausnahmefällen erreichbar sein. Die konventionellen Kopfhörer können daher unter dem Aspekt der heutigen und kommenden Anforderungen an die audiometrische Diagnostik kaum empfohlen werden. Auch die Dämmwerte des von uns benutzten Spezialkopfhörers reichen angesichts der in HNO-Praxen vorgefundenen akustischen Verhältnissen nur selten aus. Abb. 24 informiert über die zulässigen Oktavpegel bei Benutzung von Normal- und Spezialkopfhörern.

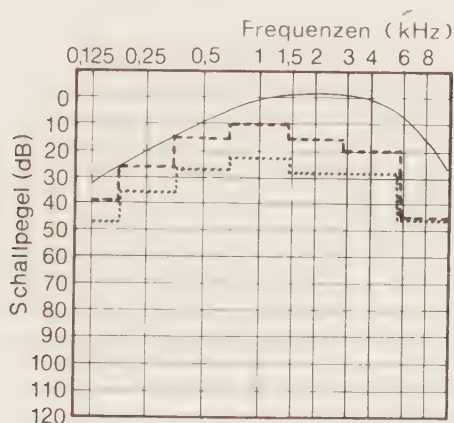


Abb. 24. Zulässige Oktavpegel für verdeckungsfreie Hörschwellenaudiometrie in absoluter audiographischer Darstellung
----- Normalkopfhörer (Schaumgummiflachmuffe)
..... Spezialkopfhörer (Schallschutzmuffe)

Die Umrechnung der eingezeichneten Oktavpegel in die einfacher meßbaren dB (A)-Pegel ist problematisch, weil die zulässigen relativ hohen Pegel in den hohen Frequenzen, die in Hörprüfräumen praktisch nicht vorhanden sind, einen höheren zulässigen A-bewerteten Schallpegel vortäuschen. Die relevanten tieffrequenten Geräuschanteile aus Abb. 24 würden für Normalhörer höchstens 20 bis 25 dB (A), für Spezialhörer höchstens 30 bis 35 dB (A) ergeben.

Eine gewisse Fehlerbreite wird man für die audiometrische Routinediagnostik indessen zubilligen können. Bewertet man eine Hörschwelle, die 10 dB über dem unter optimalen Bedingungen ermittelten Durchschnittswert eines Kollektivs junger Normalhöriger liegt, noch als normal - was sogar in der klinischen Diagnostik vielfach üblich ist - , so bleiben dementsprechend auch raumgeräuschbedingte Hörschwellenverschiebungen um den gleichen Betrag und ein Überschreiten der Oktavpegel aus Abb. 24 um 10 dB vertretbar.

Die Schalldämmung der für unsere Versuche benutzten Muffen EM 70 wird von manchen Kapselgehörschützern, die in der Lärmindustrie als persönlicher Schallschutz Verwendung finden, noch übertroffen. Abb. 25 bringt dafür ein Beispiel, wobei allerdings offen bleiben muß, ob die dargestellte Dämmcharakteristik auch im diffusen Schallfeld gilt; nach FISCHERs vergleichenden Untersuchungen in der ebenen Schallwelle und im diffusen Schallfeld scheint das nicht sicher. Andererseits haben unsere Versuche einen größeren Dämmeffekt in den tiefen Frequenzen ergeben, und zwar unter wirklichkeitsnahen Bedingungen, als nach FISCHER zu erwarten stand. Würde man also die von ZWISLOCKI in Abb. 25 veröffentlichten Dämmwerte als realisierbar ansehen und den Audiometerhörer in solche "ear muffs" einbauen, so ergäben sich noch einmal etwas höhere zulässige Oktavpegel (Abb. 26) - jedoch natürlich wiederum mit der bereits erwähnten Beschränkung auf die Luftleitungsmessung. Die absolute (theoretische) Grenze für

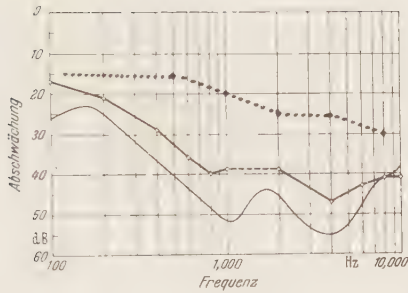


Abb. 25. Dämmcharakteristik von "ear muffs"
(nach ZWISLOCKI aus LEHNHARDT (24))
..... eigene Messung mit Muffe ME 70

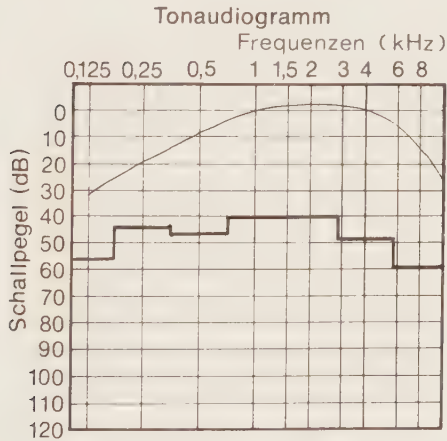


Abb. 26. Zulässige Oktavpegel des Störgeräuschs bei
Verwendung der Gehörschutzkapseln nach Abb. 25
als Hörermuffen

die Wirksamkeit von Kapselgehörschützern liegt bei 45-55 dB. Bei höheren Schallpegeln geht der auf den unbedeckten Schädel treffende Luftschall in hörbaren Knochenschall über. In den kritischen unteren Frequenzen ist technisch jedoch keine größere Störschalldämmung als 25-35 dB zu erreichen (s. Abb. 25).

Zusammenfassend ergeben sich aus unseren eigenen Untersuchungen die nachstehenden Folgerungen:

1. Bei Verwendung von Normalkopfhörern mit Schaumgummiflammuffe ist die exakte Angabe einer normalen Hörschwelle im unteren Frequenzbereich nur bei extrem niedrigen Raumgeräuschpegeln von maximal 20-25 dB (A) gewährleistet.
2. Der zulässige Raumgeräuschpegel erhöht sich durch Verwendung von Spezialkopfhörern um ca. 10 dB auf 30-35 dB(A). Dies gilt nur für die Luftleitungsprüfung; bei der Knochenleitungsprüfung können solche Pegel einen Verdeckungseffekt in den unteren Prüffrequenzen bewirken.
3. Eine raumgeräuschbedingte Verschiebung der Luftleitungshörschwelle um bis zu 10 dB kann in Kauf genommen werden, so daß sich der zulässige Raumgeräuschpegel auf 30-35 dB(A) bei Messung mit Normalkopfhörern und auf 40-45 dB(A) bei Messung mit schalldämmenden Spezialkopfhörern erhöht.
4. In etwa der Hälfte der besuchten Praxis-Hörprüfräume wurden auch diese Pegel überschritten, z.T. erheblich; die Hauptursache liegt im Eindringen gedämpften Verkehrslärms.

5.3. Abhilfe durch bauakustische Maßnahmen und Hörkabinen

Durch die Intensivierung der Vorsorgemedizin wird der HNO-Arzt bereits in nächster Zukunft in weit größerem Umfang als bisher normalhörige oder zumindest in den unteren Fre-

quenzen normalhörige Patienten (z.B. solche mit beginnendem Lärmhörschaden) audiometrisch zu untersuchen haben. Seine hördiagnostische Ausrüstung muß folglich gewährleisten, daß er ein normales Hörvermögen auch als normal erkennen kann und nicht das Hören im Lärm, genauer gesagt im gedämpften Verkehrslärm, prüft. Wenn die Stichprobe von 30 aufgesuchten Fachpraxen (ca. 1,8 % der Gesamtzahl in der Bundesrepublik Deutschland) auch klein ist, so besteht doch Grund zu der Annahme, daß der heutige Straßenlärm neben anderen, weniger relevanten Geräuschquellen in ungefähr der Hälfte der Praxishörprüfräume einen Störschallpegel aufbaut, der auch durch Verwendung von Spezialkopfhörern nicht auf den maximal zulässigen Wert im eigentlichen Prüfschallfeld zwischen Hörermembran und Mittelohr reduziert werden kann. Als einzig mögliche Maßnahme bleibt dann die Abschirmung des Patienten in einer Hörprüfkabine oder in einem gleichwertig schallgeschützten Hörprüfraum. Die Installierung einer Hörkabine bietet nahezu sicheren Schutz vor Fehlmessungen durch Raumgeräusch. Die zulässigen Oktavpegel außerhalb der Kabine sind aus Abb. 27 zu ersehen. Die Kombination von

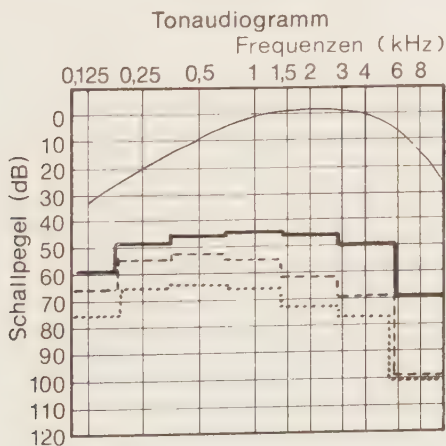


Abb. 27. Zulässige Oktavpegel für die Schwellenaudiometrie bei Benutzung einer Hörkabine (—), mit zusätzlichem Schutz durch normale Hörermuffe (----), durch Spezialmuffe (.....)

Hörkabine und Kopfhörer - ggf. Spezialkopfhörer - schafft akustische Bedingungen, die auch in einer Großstadtpraxis fehlerfreie Hörschwellenbestimmungen gestatten.

Damit treten aber auch schwerwiegende wirtschaftliche Probleme auf: Die Anschaffung einer Hörprüfkabine mit Spezialfenster, Lüftung und anderen für das Wohlbefinden des Patienten und seinen Kontakt mit dem Untersucher unerläßlichen Vorrichtungen erhöht die Kosten für eine zeitgemäße hör-diagnostische Ausrüstung auf das 3- bis 6-fache. War die Gebühr für eine audiometrische Untersuchung bisher schon in Anbetracht des Aufwandes an Zeit, elektroakustischen Apparaten und deren Eichungs- und Wartungskosten unzureichend, so wird sie durch den notwendigen Schallschutz des Untersuchungsraumes nahezu undiskutabel. Es sei nur darauf hingewiesen, daß die Anschaffungskosten für eine gute Hörkabine zuzüglich Audiometer rund das 5000-fache der allgemeinen und Sachunkosten ausmachen, die die geltende Gebührenordnung unter der Position "audiometrische Untersuchung" vorsieht - Zinsverlust und Wartungskosten nicht einmal eingerechnet. Nach 5000 Untersuchungen muß ein Audiometer aber oftmals bereits ersetzt werden.

5.4. Diskussion der Ergebnisse von Folgerungen im Hinblick auf die bisherigen Veröffentlichungen.

Die Literatur über den Einfluß von Raumgeräuschen auf schwellenaudiometrische Untersuchungen ist überraschend spärlich. GRISANTI (15) hat die Bandkonserve eines Cocktail-Party-Geräusches experimentell verwendet und damit ein vorwiegend im Raum selbst entstehendes Geräusch auf seinen Verdeckungseffekt untersucht, also ähnliche Verhältnisse geschaffen, wie sie unser geräuscherfüllter Raum (Poliklinik) bot. Er fand den größten Verdeckungseffekt in der Prüffrequenz 5000 Hz, einen geringeren bei 125 und 2000 Hz.

Unsere Versuche in der Poliklinik ergaben eine gewisse Verschiebung des Verdeckungseffekts in den mittleren Frequenzbereich. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß GRISANTI nicht mit jungen Normalhörigen arbeitete, sondern mit Personen verschiedenen Alters, die alle an einem nicht näher definierten Defekt litten. Die Ergebnisse sind also schwer miteinander vergleichbar.

Mit den Ausführungen LEHNHARDTs in seiner Neubearbeitung des LANGENBECKschen Audiometrie-Lehrbuches stimmen unsere Ergebnisse insofern überein, als sie die hauptsächliche Maskierung des Prüftons in den unteren Frequenzen bestätigen. Die spektrale Energieverteilung von Raumstörschall und deren Auswirkung auf die einzelnen tiefen Prüffrequenzen, die keineswegs einheitlich ist, wird von LEHNHARDT nicht näher diskutiert.

Auf die Abweichungen unserer Ergebnisse von den Dämmwertmessungen, die FISCHER an verschiedenen Kopfhörern vorgenommen hat, wurde bereits hingewiesen. Die tatsächliche Hörschwellenverschiebung bei der psychoakustischen Hörschwellenprüfung war geringer als nach den objektiven Dämmmessungen FISCHERS an den gleichen Kopfhörertypen zu erwarten war. Der Schutz, den insbesondere die Schallschutzmuffen gegen Hörschwellenverschiebungen durch Raumgeräusch bieten, ist unter Gebrauchsbedingungen besser, als Dämmwertmessungen im diffusen Schallfeld anzeigen (Abb. 28).

Die aus unseren Versuchen resultierenden zulässigen Oktavpegel des Raumgeräusches sind etwas niedriger, als KELLER 1966 für Routineaudiometrie angegeben hat (Abb. 29). Sie liegen näher an KELLERS Grenzkurve für wissenschaftliche Audiometrie. Eine Erklärung kann u.a. darin gesucht werden, daß wir bereits die neuen, höheren Anforderungen der Präventivmedizin an die Genauigkeit audiometrischer Hörschwellenbestimmungen berücksichtigen konnten.

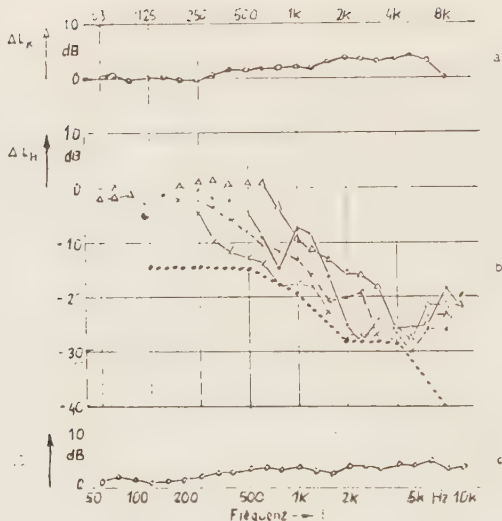


Abb. 28. Die Schalldämmung der Audiometrie Hörer im diffusen Schallfeld (objektive Messung):
a Staudruck am Ohr (oktavgemittelt);
b Schalldämmung;
c mittlere Standardabweichung der Meßwerte.
o—o Beyer DT 48 mit Flachmuffe
o—o Beyer DT 48 mit Hohlmuffe
△—△ Holmco FZO (Beeton) mit Hohlmuffe
x—x Madsen ME 70 (mit TDH 39) Gehörschutzkappe
..... Störschalldämmung durch Madsen ME 70 (mit TDH 39) nach eigenen Untersuchungen
(aus FISCHER (14)).

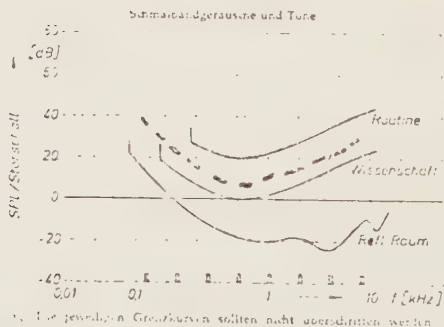


Abb. 29. Grenzkurven der Raumgeräuschpegel für audiometrische Untersuchungen nach KELLER (19). ---- Grenzkurve nach eigenen Untersuchungen.

5.5. Kritik der eigenen Untersuchungen

Da wir unsere Störschallmessungen und Hörschwellenbestimmungen im Raumgeräusch unter möglichst wirklichkeitsnahen Bedingungen ausführen wollten, haben wir bewußt auf eine Bandkonservierung des Raumgeräusches und dessen Reproduktion an einem audiologischen Labor verzichtet. Die Messungen sind folglich nicht unter genau gleichen akustischen Verhältnissen erfolgt. Damit gehen zwangsläufig gewisse Zufälligkeiten in die Ergebnisse ein, namentlich was die spektrale Energieverteilung des Störschalles im geräuscherfüllten Raum betrifft. Wie weit durch die Zahl von immerhin 120 aufgenommenen Hörschwellenkurven ein Ausgleich erfolgt ist, hätte nur durch Pegelhäufigkeitszählungen in jedem Oktavband und deren mathematische Bearbeitung geklärt werden können. Eine entsprechende Apparatur stand jedoch nicht zur Verfügung.

Weitere Ungenauigkeiten können durch die Auswahl der Probanden hervorgerufen worden sein. Diese mußte aus äußeren Gründen ziemlich kurzfristig vonstatten gehen. Die Konzentration der einzelnen Versuchsperson auf die Untersuchung ist daher möglicherweise nicht immer optimal gewesen, wobei auch die Vielfalt der optischen Eindrücke in einem poliklinischen Behandlungsraum als Ablenkung fungiert haben mag. Allerdings wurde die Schwellenprüfung stets wiederholt, wenn die Schwellenangaben den Verdacht erweckten, daß der Proband sich nicht auf das "Hinhören" konzentrierte.

6. Zusammenfassung

Die Schwellenaudiometrie ist das wichtigste und, nach der klassischen Hörprüfung mit lebender Sprache und Stimmgabel, auch nach wie vor das am häufigsten angewendete hördiagnostische Verfahren. Aus der Hörmessung mit mechanisch-akustischen Prüfgeräten hervorgegangen, liefert sie bei kürzerer Untersuchungsdauer mehr und genauere Informationen als die alten Hörprüfungsmethoden und eliminiert zugleich einen großen Teil der Fehlermöglichkeiten, mit denen insbesondere die Hörschwellenbestimmung mit Stimmgabeln belastet ist. Doch gewährleistet die Benutzung eines Audiometers allein noch keine fehlerfreie Erfassung des Hörvermögens; auch bei der Schwellenaudiometrie mit speziellen elektroakustischen Prüfgeräten sind unrichtige Ergebnisse durchaus möglich. Eine Zusammenstellung der einschlägigen Literatur ergibt, daß vier Faktoren als Fehlerquellen besonders zu berücksichtigen sind: Das benutzte Audiometer, die Untersuchungsmethodik (d.h. der Untersucher), der Patient und der Untersuchungsraum.

Am Audiometer können Eichungsfehler, Abweichungen von den Normvorschriften, auf denen die Normalhörschwelle basiert, Nebengeräusche, die Ankoppelung des Prüfschallsenders an das Gehörorgan und Klirrschwingungen unrichtige Hörschwellenregistrierungen bedingen. Die Untersuchungsmethodik muß auf die individuellen Besonderheiten des Patienten Rücksicht nehmen, pathologische Adaptations- und Ermüdungsvorgänge des peripheren Hörorgans vermeiden und durch richtige Vertäubungstechnik eine seitenge trennte Erfassung der Hörschwelle sicherstellen, um den Patienten vor falschen Angaben zu bewahren. Der Patient selbst muß möglichst ausgeruht sein und darf nicht durch optische Reize usw. abgelenkt werden; außerdem ist darauf zu achten, daß der Schallantransport nicht durch Kollaps des Gehörgangseinganges unter

dem Kopfhörerdruck behindert wird. Die kaum übersehbare Literatur über Aggravations- und Simulationstests bleibt im Rahmen des gestellten Themas außer Betracht.

Hauptgegenstand der Arbeit sind die Einflüsse des Untersuchungsraumes auf die Hörschwellenprüfung. Besondere praktische Bedeutung kommt der Hörschwellenverschiebung infolge Verdeckung des Audiometerprüftones durch Raumgeräusche zu.

Nach Erörterung der akustischen und technischen Grundlagen der Entstehung von Raumgeräuschen werden die z.T. in der Literatur bereits vorgeschlagenen, z.T. aus Fremduntersuchungen verschiedener Provenienz sich ergebenden Möglichkeiten der Abhilfe dargestellt. Die Problematik liegt darin, daß die tieffrequenten Anteile von Lärm - vornehmlich Verkehrslärm - bei ihrer Ausbreitung durch Luft, Gebäudewände, Fenster usw. weniger abgeschwächt werden als die höherfrequenten Komponenten, so daß im Audiometrierraum ein tieffrequentes Geräusch wirksam ist; gerade die tieffrequenten Geräuschkomponenten erfahren aber auch durch die konventionellen Kopfhörermuffen nur eine geringe Dämpfung. Sie dringen daher in das eigentliche Prüfschallfeld, nämlich den Luftraum zwischen Kopfhörermembran und Mittelohr, ein und bewirken dort eine Maskierung der Prüftöne. Diese führt zur Hörschwellenverschiebung und damit zu falschen Hörschwellenangaben. Eine ruhige Lage des Hörprüfraumes und die Beschränkung audiometrischer Prüfungen auf verkehrsarme Tageszeiten können die Störungen durch Außengeräusche herabsetzen; die Realisierung derartiger Schutzmaßnahmen ist in der Praxis aber nur beschränkt möglich. Ein wirksamer Störschallschutz durch die Aufstellung von Hörkabinen oder den Bau spezieller Hörprüfräume ist mit sehr erheblichen Kosten verbunden.

Als Ausweg bietet sich der Schallschutz des eigentlichen Prüfschallfeldes an, indem der Luftleitungshörer des Audio-

meters in Gehörschutzkapseln eingebaut wird. Bei audiometrischen Reihenuntersuchungen (Aussiebunguntersuchungen) in Schulen, Lärmbetrieben usw. hat sich diese Maßnahme bereits bewährt. Ihre Wirksamkeit ist indessen auf die Luftleitungsprüfung beschränkt, weil bei der Knochenleitungsprüfung das äußere Ohr unbedeckt bleibt.

Über den Dämmeffekt schallabweisender Kopfhörermuffen unter den Bedingungen der praktischen Audiometrie sind bisher kaum verwertbare Angaben publiziert worden. Das Ziel der eigenen Untersuchungen war, festzustellen, in welchem Maße die Audiometertöne bei der Luftleitungsprüfung durch Störschall tatsächlich verdeckt werden, um welchen Betrag diese Verdeckung durch Spezialkopfhörer bzw. deren Muffen vermindert wird, und mit welchen Störschallpegeln in HNO-Praxen zu rechnen ist. Hieraus sollten dann Grenzrichtwerte für das zulässige Raumgeräusch und die Konsequenzen für sachgerechte Audiometrie-Ausrüstungen deduziert werden.

In einem geräuscharmen und einem geräuscherfüllten Raum wurden die Oktavpegel der Raumgeräusche gemessen und im Anschluß daran bei 30 normalhörigen jungen Versuchspersonen Hörschwellenbestimmungen beider Ohren mit zwei verschiedenen Kopfhörern durchgeführt, von denen der eine mit konventioneller Schaumgummimuffe ausgerüstet, der andere in eine Schallschutzmuffe eingebaut war. Die Ergebnisse basieren mithin auf 240 audiometrisch bestimmten Hörschwellenkurven. Ferner wurde in den Hörprüfräumen von 30 HNO-Fachpraxen der unbewertete und der nach dB (A) bewertete Schallpegel gemessen. Zusätzlich erfolgte eine orientierende Prüfung des Dämmeffektes der beiden Kopfhörertypen mit Sinustönen in einem sog. schalltoten Raum durch subjektiven Hörschwellenvergleich unter den Bedingungen des annähernd freien Schallfeldes.

Von den besuchten 30 HNO-Praxen waren 2 mit Hörprüfkabinen ausgestattet, in 6 Praxen waren besondere, überwiegend

günstig gelegene Räume für die Audiometrie abgeteilt, in 15 Praxen wurden die audiometrischen Untersuchungen in den allgemeinen Untersuchungs- und Behandlungsräumen und in sechs Praxen in Ersatzräumen, die hauptsächlich anderen Zwecken dienten, vorgenommen. Die unbewerteten Geräuschpegel lagen zwischen 30 und 70 dB (lin), die dB (A)-Pegel zwischen 20 und 50. Der Mittelwert betrug 55 dB (lin) und 40 dB (A).

In dem geräuscherfüllten Raum, der für die Hörschwellenmessungen benutzt wurde, betrug der unbewertete Lärmpegel 60-70 dB. Die maximale Energie entfiel auf den Frequenzbereich 125-2000 Hz. Im geräuscharmen Raum wurde der unbewertete Störschallpegel mit 30 bis 40 dB, der dB (A)-Pegel mit 18 bis 25 dB gemessen. Die Hauptenergie des Geräusches lag hier ganz ausgeprägt in den tiefsten Frequenzen.

Die Hörschwellenverschiebung durch das Raumgeräusch der Poliklinik entsprach mit Abweichungen von 5-15 dB dem Betrag, um den der Oktavpegel des Geräusches die normale Hörschwelle überstieg, abzüglich der mit Sinustönen gemessenen Dämmcharakteristik der Kopfhörer. Die Spezialkopfhörer reduzierten die Hörschwellenverschiebungen in den Frequenzen bis 1000 Hz um 10 dB. In den oberen Frequenzen war der Dämmeffekt beider Kopfhörer erwartungsgemäß besser.

Aus diesen Werten ließen sich die Oktavpegel des Raumgeräusches berechnen, die bei Verwendung beider Kopfhörer noch eine fehlerfreie Hörschwellenbestimmung auch in den unteren Frequenzen gestatten. In A-bewertete Schallpegel umgerechnet, ergeben sich sehr niedrige Störschallwerte als maximal zulässig für eine fehlerfreie Schwellenaudiometrie in allen Prüffrequenzen; sie betragen bei Verwendung konventioneller Kopfhörer mit Schaumgummiflächmuffen 20-25 dB (A), bei Verwendung von Spezialkopfhörern 30-35 dB(A). Hält man, wie für die Routineaudiometrie vertretbar, eine raumgeräuschbedingte Schwellenverschiebung um 10 dB noch

für zulässig, so resultiert ein Raumgeräuschpegel von 30-35 dB (A) bei Messung mit Normalkopfhörern und von 40-45 dB (A) bei Verwendung von störschallabweisenden Spezialkopfhörern. Sie wurden in mehr als 50 % der untersuchten Fachpraxen überschritten.

Diese Feststellungen und Folgerungen werden mit bisherigen Empfehlungen verglichen und mit den Zielsetzungen neuzeitlicher Gesundheitspolitik in Zusammenhang gebracht. Die Intensivierung der Präventivmedizin stellt den HNO-Facharzt in Klinik und Praxis vor die Aufgabe, zahlreiche normalhörige oder annähernd normalhörige Patienten zu audiometrieren, bei denen zuvor audiometrische Reihenuntersuchungen den Verdacht auf eine Hörstörung ergeben haben. Er kann ein normales Hörvermögen in allen Frequenzen indessen nur feststellen, wenn der von außen eindringende Störschall in seinem Hörprüfraum die genannten dB (A)-Pegel bzw. Oktavpegel nicht übersteigt. Wie unsere Geräuschmessungen in HNO-Praxen ergeben haben, sind diese Bedingungen infolge des heutigen Verkehrslärms in Klein- und Großstädten vielfach nicht mehr erfüllt und auch durch Ausrüstung der Audiometer mit Spezialkopfhörern nur im sehr begrenzten Umfang herzustellen. Eine wirksame Abhilfe ist erst durch den Einbau störschallgeschützter Hörprüfräume oder die Aufstellung von Hörkabinen zu erwarten. Damit verteuert sich aber die Ausstattung für die audiometrische Diagnostik auf das 3- bis 6-Fache.

7. Literaturverzeichnis

1. ARNET, H.C.: Bedeutung des Störlärms für schwerhörige Kinder. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.hk.u. Z.Hals-Nas.-Ohr.hk. 180(1962), 250-252
2. BECKMANN, G.: Das hörgestörte Kind. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.hk.u.Z.Hals-Nas.-Ohr.hk. 180 (1962), 1-202
3. BECKMANN, G.: Eine verbesserte Methode zur prophylaktischen Medizin. Pract.Oto-rhino-Laryng.(Basel)19(1967), 64
4. BERENDES, J.: Anleitung zur Funktionsprüfung des Ohres, 3.Aufl.Wiss.Verlagsges., Stuttgart (1957)
5. BOCKER, P.;
MRASS, H.: Zur Bestimmung des Freifeld-Übertragungsmaßes von Kopfhörern. Acustica, 9 (1959), 341-44
6. CHADWICK, D.L.: A Mobile Audiological Unit. Internat.Audiology, 2 (1963), 165-168
7. CRESTON, J.E.: Collaps of the ear canal during routine audiometry. J.Laryng.(London) 79 (1965), 893-895
8. DIEROFF, H.G.: Die Lärmschwerhörigkeit in der Industrie. Joh.Ambrosius Barth-Verl., Leipzig 1963
9. DIPPEL, K.: Schulaudiometrische Erfahrungen mit einem 3-Frequenz-Audiometer. Inaug.Diss.Med., Marburg 1963
10. EWERTSEN, W.H.: Requirements for test rooms. Internat.Audiology,1 (1962), 157-159
11. FELDMANN, H.: Die geschichtliche Entwicklung der Hörprüfungsmethoden. Georg Thieme-Verlag, Stuttgart 1960

12. FELLMANN, H.: Über das binaurale Hören unter Einwirkung von Störgeräusch. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.hk.u.Z.Hals-Nas.-Ohr.hk. 181 (1963), 337-374
13. FELDTKELLER, R.; Das Ohr als Nachrichtenempfänger.
ZWICKER, E.: S.Hirzel-Verlag, Stuttgart 1956
14. FISCHER, R.: Die Schalldämmung in der Audiometrie gebräuchlicher dynamischer Hörer gegen diffusen Störschall. Arch.klin.exp. Ohr.-Nas.-Kehlk.hk.,194 (1969), 469-473
15. GRISANTI, G.: Ambient noise effect on auditory threshold.
Internat.Audiology,5 (1969), 221-222
16. HAHLBROCK, K.H.: Audiometrie.In: Hals-Nasen-Ohrenhk.
Hrsg.von:J.BERELDES, R.LINK, F.ZÖLLNER,
Bd III,3. Gg.Thieme, Stuttgart 1965
17. HAHLBROCK, K.H.: Vorschläge über Hörprüfräume für den praktisch tätigen Hals-Nasen-Ohrenarzt.
Zschr.Laryng.Rhinol.47 (1966), 601-610
18. HELLBRÜGGE, T.: Vorsorgeuntersuchungen bei Jugendlichen.
Dtsch.Ärzteverl., Köln 1965
19. KELLER, F.: Audiometerräume.
Zschr.Instrumentenkunde(1966), 371-376
20. KELLER, F.: Planung, Einrichtung und Überprüfung eines neuen Audiometerraumes.
Z.Laryng.Rhinol.47 (1968), 111
21. LANGENBECK, B.: Lehrbuch der praktischen Audiometrie.
3.Aufl. Gg.Thieme-Verlag,Stuttgart 1963
22. LANGENBECK, B.; Lehrbuch der praktischen Audiometrie.
LEHNHARDT, E.: 4.Aufl. Gg.Thieme-Verlag,Stuttgart 1970
23. LEHNHARDT, E.: Die Berufsschäden des Ohres. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.hk.,185 (1965), 11-242

24. LEHNHARDT, E.: Lärmschwerhörigkeit und akutes Schall-trauma. HNO(Berlin) 11 (1963), 278-283
25. MEISTER, F.J.: Akustische Meßtechnik der Gehörprüfung. G.Braun-Verlag, Karlsruhe 1954
25. MEISTER, F.J.: Arten von Gehörschutzmitteln und Ergebnisse von Messungen. Kampf dem Lärm 8 (1961), 29-33
27. MEISTER, F.J.: Verkehrsgeräuschbelastung in Schulen. Acustica 20 (1968), 224-231
28. MEYER-DELIUS, J.: Betrachtung individueller Lärmschutz-geräte. Kampf dem Lärm 5 (1958), 8-11
29. MOTHWURF, E.: Physikalische Forderungen an eine Camera silens für audiologische und phonetische Untersuchungen. Mschr.Ohrenheilk.100 (1966), 162-169
30. NIEMEYER, W.: Praktikum der Audiometrie. I. HNO(Berlin) 17 (1969), 366-370
31. NIEMEYER, W.: Praktikum der Audiometrie.II. HNO(Berlin) 18 (1970), 55-61
32. NIEMEYER, W.: Praktikum der Audiometrie.III.HNO(Berlin) 18 (1970), 279-289
33. NOVOTNY, O.: Über Lärmschäden des Ohres durch den Großstadtverkehr. Mschr.Ohrenheilk. 91 (1957), 348-364
34. PARTSCH, C.J.,
HÜLSE, M.: Plastische Ohrmulden als individueller Lärmschutz.HNO(Berlin)14 (1966),107-109
35. REIN, H.,
SCHNEIDER, M.: Physiologie des Menschen. 12.Aufl. Springer-Verlag, Berlin 1956
36. RÜSER, D.: Erfahrungen mit dem Hörweitenaudiometer. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.hk.u.Zschr.Hals-Nas.-Ohr.hk. 178 (1961), 513-517

37. SAUER, U.: Individueller Gehörschutz - Anwendung und Messung. Verkehrsmed.11 (1963), 486-595
38. SCHÖLER, W.: Die Bedeutung der Audiologie für die Hals-Nasen-Ohrenpraxis. Mschr.Ohrenheilk. 102 (1968), 159-161
39. SCHUBERT, K.: Sprachhörprüfmethoden. Gg.Thieme-Verlag, Stuttgart 1958
40. SULLIVAN, J.A., Statistical study of the relationship
HODGES, W.E.: between the ear and the response of the ear to pure tones and whispered voice. J.Aviat.Med. 23 (1952), 229, 253
41. TRENDELENBURG, F.: Einführung in die Akustik. 3.Aufl. Springer-Verlag, Berlin 1961
42. YAMAMOTO, K.; Studies on the acoustic influence of
YOKOJAMA, T. mechanical vibration.
FUJII, T.: Internat.Audiology 5 (1966), 193-195
43. YOKOJAMA, T., The acoustic influence of mechanical
OSAKO, S.: vibration. J.Oto-Rhino-Laryng.Soc.Jap. 69 (1966), Zit.Zbl. Hals-Nas.-Ohr.hk.93 (1967), 371
44. WAGNER, H.: Audiometrie im ärztlichen Sprechzimmer. HNO(Berlin) 16 (1968), 211-215

WERKSPROSPEKTE:

45. Grünzweig & Hartmann AG, Ludwigshafen. Gehörprüfkabinen aus vorgefertigten Einzelteilen.
46. Friedr.Krupp Atlas-Elektronik Bremen. Hörkabine Modell Amplifon G.

Lebenslauf

Am 6. Februar 1943 wurde ich, Michael Streit, als Sohn des Facharztes für Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten, Dr.med. Martin Streit, und seiner Ehefrau, Dr.med. Dorothee Streit geb. Bludau, in Königsberg/Pr. geboren. Nach der Flucht wohnten wir zunächst in Feilnbach/Obb. 1947 zogen wir nach Frankfurt/Main, wo mein Vater als Oberarzt an der dortigen Univ.- Hals-Nasen-Ohrenklinik tätig war, und 1948 nach Weilburg/Lahn, wo er seither als HNO-Facharzt niedergelassen ist. Hier besuchte ich von 1949-1953 die Volksschule und anschließend den humanistischen Zweig des Gymnasium Philippinum. Am 28.2.1962 erwarb ich das Zeugnis der Reife und begann im Frühjahr des gleichen Jahres an der Universität Gießen das Studium der Medizin. Nach bestandenem Vorphysikum immatrikulierte ich mich ab dem Wintersemester 1963/64 an der Universität Würzburg. Dort legte ich am 26.10.1965 das Physikum ab und studierte noch das 1.klinische Semester. Die restlichen klinischen Semester absolvierte ich an der Philipps-Universität Marburg, wo ich am 10. Februar 1969 die Ärztliche Prüfung bestand. Meine einjährige Medizinalassistentenzeit leistete ich anschließend in der gynäkologischen Abteilung des Ev. Krankenhauses in Flettenberg, in der chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses in Weilburg und anschließend in der internen Abteilung der Städtischen Krankenanstalten in Heilbronn ab.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren
und Dozenten

in Gießen: Albers, Ankel, Blasius, Denffer v., Fritz,
Graumann, Hanle, Kröhnke, Neumann, Rollhäuser,
Scharmann, Staudinger, Thauer.

in Würzburg: Altmann, Bauereisen, Cretius, Heinrich,
Kley, Kuschke, Müller, Naujoks, Neubert,
Niggemeyer, Peiper, Ricklefs, Schäfer,
Schiebler, Schmitt, Schröder, Seeliger,
Thiele, Turba, Wachsmuth, Wollheim,
Wüstenfeld.

in Marburg: Berendes, Bommer, Braun-Falco, Buchholz,
du Mesnil, Exner, Gedigk, Hamm, Hildebrandt,
Jakob, Linneweh, Löhr, Mann, Martini,
Niemeyer, Pots, Rodeck, Rohen, Salfeld,
Schleyer, Schmid, Schrappe, Schwaiger,
Siegert, Siess, Straub, Streicher, Würterle.

